Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Variabilidade espacial de componentes morfológicos e de produtividade da cultura de soja e suas relações com atributos químicos do solo

Lisandra Pinto Della Flora

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2013

Lisandra Pinto Della Flora
Engenheira Agrônoma

Variabilidade espacial de componentes morfológicos e de produtividade da cultura de soja e suas relações com atributos químicos do solo

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Flora, Lisandra Pinto Della
Variabilidade espacial de componentes morfológicos e de produtividade da cultura de soja e suas relações com atributos químicos do solo / Lisandra Pinto Della Flora.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.
61 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Índice de Área Foliar 2. Agricultura de precisão 3. Variabilidade 4. Glycine max (L) Merrill 5. Fertilidade do Solo I. Título

CDD 633.34
F632v

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Ao amigo, companheiro e amado marido Antônio Luis Santi,

por sempre estar ao meu lado, me ajudou a realizar esta obra com prazer e segurança.

Obrigado pelo carinho, pela compreensão e principalmente pela

cumplicidade. Ao meu querido e amado filho Lorenzo, pessoinha que me inspira a viver.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde, oportunidades concedidas e força para perseverar.

À minha família, que é a base da minha vida.

Aos meus pais Abraão e Marli, minhas irmãs Bianca e Diandra, cunhado André, pelo incentivo e auxílio durante essa caminhada.

À Universidade de São Paulo (USP) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Dr. Durval Dourado Neto, pela orientação, disponibilidade e incentivo durante a realização do curso.

Aos queridos colegas Adriano Michel, Cláudio Kelling, Fernando Machado dos Santos, João Flávio Cogo Carvalho, Jorge Alex Willers, Luís Alberto Cadoná, Marcelo Rodrigues, Paulo Artur Xavier, Rosemari Kerber Aires e Wolmar Trevisol, pelos momentos que passamos juntos, de descontração, apoio e, principalmente durante as aulas em Santa Maria.

À funcionária Luciane Aparecida Lopes Toledo, pelo total auxílio prestado em função da distância durante o curso, apoio e colaboração na realização deste projeto.

À Capes pelo Projeto Dinter e concessão da bolsa de estudo, fundamental para o desenvolvimento do estágio em Piracicaba.

Ao Colégio Agrícola de Frederico Westphalen (CAFW), pelo incentivo e dispensa das atividades para a realização desse trabalho.

Aos bolsistas e voluntários do LAP SUL – CESNORS/UFSM, pela ajuda no campo, no laboratório, na digitação dos dados e na geração dos modelos. Um aprendizado mútuo regado de muita amizade e compromisso.

A fazenda Vila Morena, na pessoa do Senhor Eliseu José Schaedler e Eduardo Dauve pela hospitalidade, disponibilidade dos dados e acreditar na pesquisa aplicada.

A todos que me apoiaram, incentivaram, acreditaram em meu potencial e lutaram comigo.

Muito obrigada!

“Dizem que a vida é para quem sabe viver, mas ninguém nasce pronto. A vida é para quem é corajoso o suficiente para arriscar e humilde o bastante para aprender”.

(Autor desconhecido)

SUMÁRIO

RESUMO 11
ABSTRACT 13
LISTA DE TABELAS 15
1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21
3 MATERIAL E MÉTODOS 25
3.1 Localização e características da área experimental 25
3.2 Vetorização da área experimental e coleta do solo 26
3.3 Semeadura e cultivo de soja 27
3.4 Experimento I 28
3.5 Experimento II 29
3.6 Análise estatística 29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 31
4.1 Experimento I 33
4.2 Experimento II 40
5 CONCLUSÕES 53
REFERÊNCIAS 55

RESUMO

Variabilidade espacial de componentes morfológicos e de produtividade da cultura de soja e suas relações com atributos químicos do solo

Após a primeira fase de implementação da agricultura de precisão, foram encontradas baixas correlações entre os atributos do solo e a produtividade da soja. Assim, o conhecimento da relação entre os componentes da planta, tais como componentes de produtividade, além de ser importante para a definição do tipo de planta mais produtiva, pode ajudar na compreensão dos fatores que regulam a produção de grãos de soja. Este estudo teve como objetivo avaliar as relações espaciais entre os componentes morfológicos e produtividade de soja com a variabilidade espacial de atributos do solo. A área experimental (117,17 ha) situa-se entre as latitudes de 26 ° 90 '27" S e 27 ° 02' 86" S (Sul) e as longitudes de 69 ° 30 '88" W e 69 ° 32' 67" W (Oeste), no município de Boa Vista das Missões, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. As variedades cultivadas utilizadas foram Nidera-5909-RG e Nidera-6411-RG nas safras 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. A área foliar foi estimada pelo método de discos no estádio fenológico V_4 da cultura de soja. Amostras de solo e planta foram coletadas em 39 pontos georreferenciados com malha de amostragem regular de 173,73 x 173,73 m. Os dados de atributos químicos do solo apresentaram alta variabilidade espacial. O teor de argila, CTC efetiva, saturação por bases e os teores de potássio, magnésio e manganês apresentam valores que seguem distribuição normal. Dentre as variáveis de solo, os atributos de acidez (pH, teor de alumínio e saturação por bases e por alumínio) apresentaram a melhor correlação com os parâmetros morfológicos de soja. Análise de crescimento mostrou diferença entre os pontos de amostragem com a variabilidade na área experimental, mas o tamanho da grade de amostragem utilizada não foi eficiente para discriminar a variabilidade da massa de matéria seca de parte aérea e de folha. O aumento da massa de matéria seca de parte aérea e de folha aumentou o número de vagens por planta com um e dois grãos na haste (correlações positivas), já a área foliar específica foi negativamente correlacionada com estes duas variáveis. Dentre os componentes de produção de soja, a presença de dois grãos por vagem na haste e três grãos por vagem nos ramos apresentaram distribuição normal. No entanto, a formação de três grãos por vagens na haste apresentou variabilidade espacial. Os atributos do solo que apresentaram maior influência sobre os componentes de produção de soja foram matéria orgânica do solo e teores de argila e fósforo nas safras 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. Para massa de 100 grãos (em ambas as safras) e da produtividade (safra 2010/2011), a performance geoestatística foi efeito pepita puro, o que demonstra a ineficiência da amostragem da grade de três hectares para capturar a variabilidade espacial desses atributos.

Palavras-chave: Índice de área foliar; Agricultura de precisão; Variabilidade; *Glycine max*; Fertilidade do solo

ABSTRACT

Spatial variability of morphological components and productivity of soybean and its relationship with chemical soil

After the first phase of precision agriculture implementation, low correlations between soil attributes and the soybean yield were found. Thus, knowledge of the relationship between plant components, such as productivity components, besides being important for the definition of plant type most productive, may help in understanding the factors that regulate the production of soybean grain. This study aimed to evaluate the spatial relationships between morphological components and soybean productivity with the spatial variability of soil attributes. The experimental area (117.17 ha) is situated between the latitudes of 26° 90' 27" S and 27° 02' 86" S (South), and the longitudes of 69° 30' 88" W and 69° 32' 67" W (West), in ´Boa Vista Missões´ county, State of ´Rio Grande do Sul´, Brazil. The cultivated varieties used were Nidera-5909-RG and Nidera-6411-RG in the 2010/2011 and 2011/2012 seasons, respectively. Leaf area was estimated by the discs method at the V_4 phenological stage of soybean crop. Soil and plant samples were sampled at 39 georeferenced points with regular sampling grid of 173.73 x 173.73 m. The soil chemical attributes data showed high spatial variability. The clay content, effective CEC, base saturation and potassium, magnesium and manganese contents present values that follow normal distribution. Among the soil variables, the attributes of acidity (pH, aluminum content and base and aluminum saturation) presented the best correlation with morphological parameters of soybean. Growth analysis showed differences between sampling points with the variability in the experimental area, but the size of the sampling grid used was not efficient for discriminating the shoot and leaf dry matter variability. The increasing of shoot and leaf dry matter increased the number of pods per plant with one and two grains per stem (positive correlations), since the specific leaf area was negatively correlated with these two variables. Among soybean production components, the presence of two grains per pod in the stem and three grains per pod on the branches presented normal distribution. However, the formation of three grains per pods in the stem showed spatial variability. The soil attributes that presented highest influence on the soybean production components were soil organic matter and clay and phosphorus content in the 2010/2011 and 2011/2012 seasons, respectively. For weight of 100 grains (in both seasons) and soybean productivity (2010/2011 season), the geostatistical performance was pure nugget effect, demonstrating the inefficiency of the sampling grid three hectares to capture the spatial variability of these attributes.

Keywords: Leaf area index; Precision agriculture; Variability; *Glycine max*; Soil fertility

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Precipitação pluvial (mm) registrada na área de estudo entre os anos de 2010 e 2012 25

Tabela 2 - Histórico dos cultivos, práticas de adubação e correção realizadas na área de estudo 26

Tabela 3 - Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), médios (Me), da mediana (Md) e máximos (Mx), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV, %), assimetria (As), curtose (Ct) e teste de Shapiro-Wilk (SW) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental – coleta 2010. Boa Vista das Missões, RS 32

Tabela 4 – Análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance – Ac – referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Índice de Dependência Espacial – IDE – e Classe - C) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental. Boa Vista das Missões, RS 33

Tabela 5 – Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), médios (Me), da mediana (Md) e máximos (Mx), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV, %), assimetria (As), curtose (Ct) e teste de Shapiro-Wilk (SW) referentes aos componentes morfológicos (*AF*: área foliar – m^2.planta^{-1}; *IAF*: índice de área foliar – $m^2.m^{-2}$; *BSPA*: biomassa de matéria seca da parte aérea – g.planta^{-1}; *BSF*: biomassa de matéria seca de folha – g.planta^{-1}; *AFE*: área foliar específica – g.m^{-2}; *RMF*: razão de massa foliar; *RAF*: razão de área foliar) da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS 35

Tabela 6 - Análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance – Ac – referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Índice de Dependência Espacial – IDE – e Classe - C) referentes aos componentes morfológicos (*AF*: área foliar – m^2.planta^{-1}; *IAF*: índice de área foliar – $m^2.m^{-2}$; *BSPA*: biomassa de matéria seca da parte aérea – g.planta^{-1}; *BSF*: biomassa de matéria seca de folha – g.planta^{-1}; *AFE*: área foliar específica – g.m^{-2}; *RMF*: razão de massa foliar; *RAF:* razão de área foliar) da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-

RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS..... 36

Tabela 7 - Correlação de Pearson entre os componentes morfológicos (*AF*: área foliar - m^2.planta^{-1}, *IAF*: índice de área foliar – $m^2.m^{-2}$, *BSPA*: Biomassa de matéria seca da parte aérea, *BSF*: biomassa de matéria seca de folhas, *AFE*: área foliar específica, *RMF*: razão de massa foliar, *RAF*: razão de área foliar) da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS.... 38

Tabela 8 - Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), médios (Me), da mediana (Md) e máximos (Mx), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV, %), assimetria (As), curtose (Ct) e teste de Shapiro-Wilk (SW) referentes aos dos componentes de produção da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS 42

Tabela 9 – Análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance – Ac – referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Índice de Dependência Espacial – IDE – e Classe - C) referentes aos componentes de produção da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS 44

Tabela 10 - Correlação de Pearson entre os componentes morfológicos (h: altura (cm) de planta. NR: número de ramos. NNH: número de nós na haste. NNR: número de nós nos ramos. NNFH: número de nós férteis na haste. NNFR: número de nós férteis nos ramos. NL1GH: número de legumes com um grão na haste. NL2GH: número de legumes com dois grãos na haste. NL3GH: número de legumes com três grãos na haste. NL>3GH: número de legumes com mais de três grãos na haste. NL1GR: número de legumes com um grão nos ramos. NL2GR: número de legumes com dois grãos nos ramos. NL3GR: número de legumes com três grãos nos ramos. NL>3GR: número de legumes com mais de três grãos nos ramos. M100: massa(g) de 100 grãos) e de produção da cultura de soja nas safras 2010/2011 e 2011/2012, Boa Vista das Missões, RS..... 47

Tabela 11 - Correlação de Pearson entre atributos de solo e de componentes de produção da cultura da soja, safra 2010/2011, Boa Vista das Missões, RS..... 50

Tabela 12 - Correlação de Pearson entre atributos de solo e de componentes de produção da cultura da soja, safra 2011/2012, Boa Vista das Missões, RS 51

1 INTRODUÇÃO

O interesse mundial na cultura de soja é inquestionável em grande parte pelo seu teor proteico, cerca de 40%, e uma fonte importante de alimentação humana e animal. Tais razões, aliadas ao crescimento da produção e da capacidade competitiva da soja brasileira, também têm sido alvo de questionamentos de onde se pode chegar em termos de oferta e produtividade. Isso porque, toda e qualquer produção vegetal que vise à máxima produtividade econômica fundamenta-se na integração de três fatores: (i) a planta, (ii) o ambiente de produção e (iii) o manejo.

O conhecimento do potencial de produtividade da cultura de soja, em condições de campo, e a busca por alta produtividade de grãos dependem, primeiramente, do conhecimento detalhado do crescimento e do desenvolvimento da cultura, suas exigências edafoclimáticas, nutricionais e do potencial genético da variedade cultivada utilizada.

Por outro lado, a variabilidade espacial existente nas lavouras brasileiras não é novidade. Em conversa com produtores e técnicos de campo, percebe-se o reconhecimento dessa natureza reafirmando que uma parte da área produz mais que a outra ou, que em determinado local, os teores de nutrientes são mais elevados que a média da lavoura. A valorização da variabilidade espacial e a possibilidade de manejá-la visando aumentar a eficiência do uso de insumos tem sido um desafio para técnicos e produtores. A partir desse contexto, tem se firmado como ferramenta de manejo a chamada Agricultura de Precisão (AP).

O uso de ferramentas como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) proporcionaram localizar, espacializar e aumentar a eficiência produtiva a partir da racionalização do uso de insumos, o controle mais eficaz dos fatores de produção, a preservação de recursos naturais e a identificação de subáreas com limitações ou potencialidades para incremento de produtividade.

O mapa de produtividade, por exemplo, quando disponível, é uma das alternativas mais simples para estimar a heterogeneidade da área em culturas como a soja. Por outro lado, avaliações na lavoura em períodos anteriores à colheita através do mapeamento de variáveis de planta pode auxiliar na previsão de eventos e permitir a intervenção na lavoura, durante o ciclo, com aplicação de práticas capazes de minimizar as perdas da possibilidade de alta produtividade, obtendo-se maior quantidade de grãos na maturação.

O presente trabalho tem por objetivo principal analisar a variabilidade espacial dos componentes morfológicos da cultura de soja, no estádio vegetativo V_4, e dos componentes de

produção, da fertilidade do solo, e relação desses atributos com a produtividade da cultura de soja.

Como objetivos específicos, têm-se: (i) estudar a variabilidade espacial do potencial de produtividade atingível da cultura de soja na maturação fisiológica em condições de campo; (ii) caracterizar a variabilidade espacial dos componentes de produtividade da cultura de soja; (iii) caracterizar a variabilidade espacial dos principais atributos químicos do solo; e (iv) determinar as interações entre os componentes de produtividade da cultura de soja e os atributos químicos do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As modificações na morfologia das plantas de soja dependem das condições de solo e clima e do aproveitamento dos recursos ambientais. Obter elevadas produtividades nessa cultura depende da capacidade da planta na interceptação da radiação solar e ou acúmulo de matéria seca durante o estádio vegetativo e o reprodutivo, sendo neste último, dependente, também, de outros fatores como condições meteorológicas, data de semeadura, genótipo, fertilidade do solo, população de plantas e espaçamento entre linhas (WELLS, 1991, 1993).

Considerando a importância econômica e social da cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul e a alta variabilidade da produtividade em condições de campo, é relevante estudos que possibilitem compreender as condições de desenvolvimento das plantas e seus impactos na produção. Com o advento das técnicas da agricultura de precisão tem sido possível identificar e espacializar, mesmo em condições de campo, qualquer variável, e o acompanhamento da evolução temporal do solo e das plantas (HEIFFIG et al., 2006).

O conhecimento do índice de área foliar (IAF), que é a relação entre a área de folhas e a superfície do solo por ela ocupada (MÜLLER, 1981), rege o processo fotossintético que depende da interceptação da luz e sua conversão em energia química, portanto, o IAF pode ser considerado um parâmetro indicativo de produtividade (FAVARIN et al., 2002). Isso é perfeitamente possível, pois o “IAF crítico” é definido como a quantidade de folha requerida para interceptação de 95% da radiação solar ao meio dia, correspondente a fotossíntese líquida máxima. Quando a taxa de crescimento é decrescente, abaixo de um dado IAF e, não havendo mais uma contribuição líquida ao acúmulo de fotossintetizados, será denominado “IAF ótimo” (MÜLLER, 1981).

Até então não há trabalhos que consideram a relação espacial entre IAF e a produtividade da cultura de soja. O que se sabe, porém, é que a produtividade não aumenta linearmente com o IAF, devido ao auto-sombreamento das folhas e que a produção de grãos por unidade de área aumenta até um máximo denominado “ponto crítico” isso porque, ocorre, geralmente, competição intraespecífica estimulado pelas variações na população de plantas (DOURADO NETO; FANCELLI; LOPES, 2001). Além disso, a partir de um certo valor de biomassa de folha, o seu aumento proporciona um incremento de respiração de forma exponencial enquanto a fotossíntese aumenta potencialmente, a consequência é a diminuição da fotossíntese líquida (DOURADO NETO; FANCELLI; LOPES, 2001). Board e Harville (1994) mostram que a redução da distância entre as linhas aumenta o número de legumes por

m^2, pela maior interceptação de luz entre os estádios R_1 (início do florescimento) e R_5 (início do enchimento de grãos).

Para o sucesso da aplicação dos conceitos da agricultura de precisão deve-se identificar o conjunto dos fatores mais importantes que influenciam as produtividades das culturas no campo. Neste caso, o mapeamento da produtividade é parte essencial (COELHO, 2003; GIMENEZ; MOLIN, 2004). A limitação dessa ferramenta é que evidencia regiões com alta e baixa produtividade, mas não explica a causa de tal variação, que pode ser devido a doenças, a deficiências, a desequilíbrios químicos ou estresse hídrico e se a causa específica não é determinada, nenhuma resposta ao gerenciamento pode ser obtida (LARK; STAFFORD, 1997).

Várias pesquisas realizadas em condições similares a este trabalho, envolvendo agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, não têm observado boas correlações entre atributos químicos do solo e a produtividade da cultura de soja (PONTELLI, 2006; SANTI, 2007; AMADO; SANTI, 2010, 2011). Por sua vez, Ventimiglia et al. (1999) observaram que a maior perda percentual de potencial de produtividade, na cultura de soja, é motivada tanto pelo aborto de flores como pelo aborto de legumes, observada nas condições de baixo conteúdo inicial de fósforo no solo.

Como a agricultura de precisão, embora como prática emergente, desafia a média como valor representativo de uma situação, justifica-se estudar o que determina similaridade ou dissimilaridade entre mapas (CARVALHO; VIEIRA; MORAN, 2002). Agregar os mapas de atributos químicos com outros atributos do solo, como os físicos e biológicos, e cruzá-los com atributos de planta e o mapa de produtividade passam a ser uma necessidade para o incremento sustentável da produção das culturas (SANTI et al., 2009).

Após a primeira fase de implantação da agricultura de precisão tem se encontrado baixas correlações entre atributos de solo e a produtividade da cultura de soja. Dessa forma, o conhecimento da relação entre atributos da planta, como os componentes de produtividade, além de serem importantes para a definição do tipo de planta mais produtiva, também podem auxiliar no entendimento dos fatores que regulam a produção de grãos em soja tanto os que atuam durante a floração como os determinados no período de enchimento de grãos.

Trabalhos com agricultura de precisão não tem mostrado efeito na produtividade de grãos da cultura de soja após o primeiro estágio de implantação (três a quatro anos de adoção) quando, geralmente, são consideradas apenas a correção de atributos de acidez, fósforo e potássio do solo. Resultados encontrados por Amado et al. (2007), em condições do Sul do Brasil, sugerem que zonas de baixa produtividade de soja são as mais sensíveis ao estresse

ambiental. Por sua vez, a inexistência de resposta diferenciada para produtividade de grãos de soja à variação de atributos químicos do solo pode estar intimamente relacionada com a plasticidade fenotípica que essa cultura apresenta. Segundo Hunghes (1988), Cooperative Extension Service (1994) e Costa, Confalone e Pereira (1999), a plasticidade consiste na capacidade de a planta realizar alterações fisiológicas, morfológicas e anatômicas, principalmente nos componentes de produtividade, a fim de adequá-los à condição imposta pelo ambiente.

Segundo Gassen (2013), um índice de área foliar de soja, necessário para garantir produtividades elevadas varia entre 3,5 a 4,5 m^2 para cada m^2 de área de solo. Ou seja, uma relação aproximada de 4:1. A determinação dessa variável é muito importante, principalmente para prever estratégias de manejo de pragas e doenças foliares, por exemplo. Plantas de soja com índice de área foliar 7:1 toleram mais de 40% de desfolhamento, enquanto plantas com índice de área foliar 3:1 não permitem desfolhamento. Porém, altos valores de índice de área foliar apresentam respiração excessiva (DOURADO NETO; FANCELLI; LOPES, 2001).

Além disso, variáveis biofísicas do dossel como o índice de área foliar e fitomassa são de grande valia em estudos de avaliação do estado atual da vegetação baseados em índice de vegetação e sensoriamento remoto (ANTUNES, 1993). O sensoriamento remoto vem sendo empregado como tecnologia para o monitoramento de culturas agrícolas no Brasil, mudando assim o cenário de previsão de safras agrícolas, pois pode fornecer dados de grandes extensões territoriais e com alta repetitividade ao longo do ciclo das culturas. Dessa forma, os índices de vegetação servem de parâmetro no acompanhamento das culturas, pois variam conforme o desenvolvimento vegetativo das mesmas (OLDONI et al., 2013).

No que tange à produção vegetal, dentre os fatores extrínsecos à planta, com exceção à radiação, os demais (disponibilidade de CO_2, água e nutrientes) podem ser manejados pelo homem e, portanto, não são empecilhos ao aumento da produtividade (MACHADO et al., 2001). O conhecimento da relação entre atributos da planta com os componentes de produtividade além de ser importante para a definição do tipo de planta mais produtivo (NAVARO JUNIOR; COSTA, 2002) também pode auxiliar no entendimento dos fatores que regulam a produção de grãos em soja tanto os que atuam durante a floração, quando o número potencial de legumes por planta e de grãos por legume são determinados ou no período de enchimento de grãos quando o tamanho de grãos é determinado (DYBING, 1994; McBLAIN; HUME, 1981).

Dada à diversidade de fatores e parâmetros envolvidos, a agricultura de precisão requer um monitoramento contínuo espacial e temporal, da área estudada, como também

conhecimento mais profundo para decidir as estratégias que serão adotadas. A maioria dos estudos realizados até então envolveram comparações apenas entre os atributos de solo e a produtividade da cultura de soja, mas um dos aspectos ainda a serem desvendados são a influência conjunta dos atributos químicos do solo e suas relações com os componentes de produtividade, porém, para tanto, é necessário conhecer a distribuição da variável e seu grau de dependência espacial (VIEIRA et al., 1983).

Uma das ferramentas que permite o conhecimento desta distribuição espacial é a *krigagem*. O desafio representativo de uma situação depende da variação espacial que é a variação vista no campo, alterada pelos diferentes fatores que a compõem e a variação temporal que é a variação que ocorre quando se comparam mapas de produtividade de um ano para outro (CARVALHO; VIEIRA; MORAN, 2002). Outro aspecto inerente aos modelos de produtividade conhecidos na AP, atualmente, consideram apenas as exigências nutricionais de correção do solo ou de exportação das diferentes culturas esperando que a prescrição altere os mapas de produtividade.

Como estratégia de aprimoramento do sistema de produção, a AP não pode ficar restrita a caracterização da variabilidade espacial de atributos químicos, pois ai seria apenas uma ferramenta de diagnóstico, sujeita a parar na aplicação de insumos a taxa variada (AMADO; SANTI; TEIXEIRA, 2009). Obviamente que, como premissa, a maior expressão do potencial produtivo das variedades cultivadas de soja depende das condições do meio aonde as plantas irão se desenvolver e do acúmulo de plantas em alguns pontos da lavoura podem provocar o desenvolvimento de plantas mais altas, menos ramificadas, com menor produção individual, diâmetro de haste reduzido ou mesmo sujeitas ao acamamento (ENDRES, 1996).

Com a geoestatística é possível detectar a existência de estrutura ou grau de organização na distribuição espacial dos parâmetros estudados, é possível mapear qualquer parâmetro e identificar, a campo, o local, além de detectar a existência de uma estrutura ou grau de organização na distribuição espacial dos parâmetros estudados e sua mantença ao longo do tempo.

Quando se deseja a busca por elevadas produtividades na cultura de soja, o entendimento dos fatores responsáveis pela variabilidade dos parâmetros de planta ou de solo, que contribuem para o desenvolvimento e a produtividade da cultura podem servir de base para a busca de maior precisão na agricultura e aumento na produtividade de grãos (PIRES 2002; SANTI, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

O estudo foi desenvolvido a campo durante dois anos (safra 2010/2011 – S10/11, e safra 2011/2012 – Safra 2011/2012), em uma área de 117,17 ha, iniciando-se em novembro de 2010 até abril de 2012, na Fazenda Vila Morena, de propriedade do Sr. Eliseu José Schaedler, no Município de Boa Vista das Missões - RS. As coordenadas geográficas do local são: 26°90’27’’ S a 27°02’86’’ S e longitude: 69°30’88’’ W a 69°32’67’’ W. O solo é pertencente à unidade de mapeamento Passo Fundo, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006), com baixa fertilidade natural. O relevo é suave ondulado, com altitude aproximada de 630 m. O clima do local, segundo a classificação de Maluf (2000), é subtropical, com primavera úmida (ST PU), com precipitação média anual elevada, geralmente entre 1.800 e 2.100 mm, bem distribuída ao longo do ano. A temperatura média anual é em torno 18ºC, com máximas no verão podendo atingir 41ºC e mínimas no inverno atingindo valores inferiores a 0ºC (MORENO, 1961). Os dados climáticos registrados na área de estudo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1- Precipitação pluvial (mm) registrada na área de estudo entre os anos de 2010 e 2012

Ano	Decêndio [1]	Mês											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010	1	59	58	0	0	26	13	53	22	47	51	7	54
	2	73	114	27	0	190	139	88	27	16	124	6	154
	3	43	12	84	199	22	0	50	0	255	61	39	63
2011	1	34	34	25	24	47	49	2	36	36	26	0	44
	2	25	22	2	73	15	50	283	75	24	76	88	0
	3	129	40	133	99	0	194	32	45	5	36	25	17
2012	1	3	24	88	25	0	127	81	0	22	215	20	37
	2	54	14	32	48	0	42	0	20	87	7	12	194
	3	34	71	34	34	10	14	131	8	3	191	40	40

[1] Decêndio 1: dia 1º ao dia 10; Decêndio 2: dia 11 a 20; Decêndio 3: dia 21 a 30 (31). Fonte: Eiltelwein (2013)

Na Tabela 2, encontra-se o histórico de manejo e adubações adotadas na área. Dentre as culturas, prioriza-se o cultivo de aveia no inverno e soja e milho no verão. Fez-se adição de calcário, aplicado em taxa variada, antecedendo a safra de verão 2008/2009 (1,1 $t.ha^{-1}$). As adubações são realizadas congregando aplicações de correção, manutenção e exportação, distribuindo o fósforo preferencialmente na linha de semeadura e o potássio e a ureia a lanço.

Tabela 2 - Histórico dos cultivos, práticas de adubação e correção realizadas na área de estudo

Ano Agrícola	Safra	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte [(1)]	Quantidade ($kg.ha^{-1}$)	Modo de Aplicação
2008/09	Inverno	Aveia Preta	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
	Verão	Milho	Calcário	1.100	Lanço
			Adub. Orgânica	1.100	Lanço
			MAP	170	Linha
			KCL	100	Lanço
			Ureia	290	Lanço
2009/10	Inverno	Aveia Branca	MAP	120	Linha
			Ureia	100	Lanço
	Verão	Soja	NPK 02-25-15	340	Linha
2010/11	Inverno	Aveia Branca	NPK 05-20-20	100	Linha
			Ureia	50	Lanço
	Verão	Soja	MAP	160	Linha
			SFT	120	Lanço
			KCL	100	Lanço
2011/12	Inverno	Aveia Preta	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
	Verão	Soja	DAP	120	Linha
			KCL	100	Lanço
2012/13	Inverno	Aveia Preta	Sem adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
	Verão	Soja	DAP	150	Linha
			Ureia	200	Lanço

[(1)]Adub. Orgânica.: Adubação orgânica utilizando cama de peru; MAP: fosfato monoamônico (48% de $P_2O_{5\ (em\ CNA+água)}$ + 9% N); DAP: fosfato diamônico (45% de $P_2O_{5\ (em\ água)}$ + 16% N); SFT: superfosfato triplo (41% de $P_2O_{5\ (em\ CNA+água)}$ + 12-14% Ca); KCl: cloreto de potássio (58% de $K_2O_{\ (em\ água)}$ + 45-48% Cl); NPK: Fertilizante formulado fonte de nitrogênio, fósforo e potássio; Ureia: (45% N). Fonte: Eitelwein (2013)

3.2 Vetorização da área experimental e coleta do solo

Com auxílio de um aparelho de Sistema de Posicionamento Global (GPS) fez a vetorização da área com a demarcação do perímetro. Após, foi definida a malha de amostragem georreferenciada através de grade quadricular regular de 173,73 x 173,73m, gerada através do programa computacional Sistema CR-Campeiro 7 (GIOTTO; ROBAINA, 2007).

A amostragem georreferenciada de solo consistiu na coleta das amostras compostas em um raio de 15 m do ponto central georreferenciado, na profundidade de 0 – 0,15 m,

utilizando um sistema de trado de rosca com acionamento hidráulico acoplado em um quadriciclo, com 12 subamostras para compor a amostra composta em cada um dos 39 pontos georreferenciados. As amostras foram envidas ao laboratório de análise de solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, procurando manter o histórico de laboratório usado na propriedade. Os parâmetros analisados foram determinados conforme as metodologias recomendadas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004): pH em H_2O (relação 1:1); índice SMP; CTC efetiva; saturação por bases (V%) e por alumínio (m%); teores de fósforo (P) – Mehlich-1; potássio (K); alumínio (Al); cálcio (Ca), magnésio (Mg); enxofre (S); cobre (Cu); boro (B); manganês (Mn); zinco (Zn) e teores de argila e de matéria orgânica (MO).

3.3 Semeadura e cultivo de soja

No primeiro ano de estudo, safra 2010/2011 (S10/11), a semeadura de soja foi realizada no dia 17 de novembro de 2010, no espaçamento de 0,45 m, utilizando a variedade Nidera 5909 RG, que possui as seguintes características: resistência ao Glifosato, ciclo semiprecoce (pertencente ao grupo de maturidade 6 – curto), resistência ao acamamento, alta produtividade de grãos, estabilidade de produção, hábito de crescimento indeterminado, ótimo potencial de engalhamento na população de 280 a 340 mil plantas por hectare. A planta apresenta de 15 a 20 nós por planta, 3 a 5 legumes por nó e 2 a 3 sementes por legume (NIDERA SEMENTES, 2012).

Todas as práticas culturais recomendadas para a cultura foram realizadas, no sentido de manter as plantas livres de pragas, doenças e plantas daninhas, a fim de garantir a máxima expressão dos componentes de produção, isolando-as da interferência destes fatores.

Na safra 2011/2012, segundo ano de estudo, a semeadura foi realizada no dia 19 de novembro de 2011, no espaçamento de 0,45 m e a variedade cultivada implantada foi a Nidera 6411 RG. Segundo os detentores da variedade (NIDERA SEMENTES, 2012), as características desse material são: resistência de Glifosato, ciclo semiprecoce (pertencente ao grupo de maturidade 6 – curto), alta produtividade de grãos, excelente adaptação ao sul do Brasil, estabilidade de produção, hábito de crescimento determinado, ótimo potencial de engalhamento quando implantada na população recomendada de 250 a 350 mil plantas por hectare.

3.4 Experimento I

Com o propósito de melhor entendimento da variabilidade espacial da produtividade da cultura de soja, foram avaliadas as variações dos componentes morfológicos da cultura da soja, no estádio vegetativo V_4, e associá-lo com os atributos químicos do solo.

Para tanto, a Área Foliar (AF, $m^2.planta^{-1}$) foi estimada através da retirada de discos foliares utilizando furadores cilíndricos de área conhecida (área interna do cilindro), segundo metodologia proposta por Benincasa (2003). No estádio V_4 da soja foram coletadas as plantas que se encontravam dentro de um metro linear, em cada ponto georreferenciado. Cada metro linear amostral era representado por uma média de 10 a 12 plantas, com três repetições.

Após esse procedimento, as folhas de todas as plantas foram destacadas. Para a avaliação da biomassa, foram separadas 50 folhas e, destas, retirados 100 discos com furador cilíndrico de cada repetição (três). Os discos retirados foram acondicionados em sacos de papel e levados a estufa de ventilação forçada até atingir peso constante. O restante das folhas usada para a retirada dos discos e as não usadas foram acondicionadas em outro saco de papel e também levadas a estufa para secagem.

A área das folhas foi estimada a partir das relações entre a massa de matéria seca dos discos, área total dos discos e a matéria seca total das folhas amostradas, das folhas usadas, das folhas não usadas e dos discos. Para isso, utilizou-se as seguintes equações:

$$Af = \frac{Ad(Pd + Pf)}{Pd} \tag{1}$$

$$Ad = \pi.R^2.n_d \tag{2}$$

em que: Af se refere à área foliar ($m^2.planta^{-1}$); Ad à área dos discos (m^2); Pd à massa de matéria seca dos discos (g); Pf à massa de matéria dos restos das folhas (g); R ao raio (m) do furador cilíndrico; n_d ao número de discos.

A partir dos dados de área foliar (*Af*, $m^2.planta^{-1}$), obteve-se o índice de área foliar (*IAF*, $m^2.m^{-2}$) por meio da equação:

$$IAF = \frac{Af}{As} = \frac{Af}{D_{planta}.D_{linha}} \tag{3}$$

em que *As* se refere à área de solo ($m^2.planta^{-1}$); D_{planta} à distância média entre plantas (0,10 m); e D_{linha} à distância média entre linhas (0,45 m).

Após o cálculo desses valores por ponto amostral, foi possível obter os dados primários de massa de matéria seca da parte aérea (*Bspa*, $g.planta^{-1}$), e de folhas (*Bsf*, g.planta-

^{1}). Os valores dos índices de crescimento como área foliar específica (*Afe*, ($m^2.g^{-1}$)), razão de massa foliar (*Rmf* ($g.g^{-1}$)) e razão de área foliar (*Raf* (($m^2.g^{-1}$)) foram obtidos a partir das seguintes equações:

$$Afe = \frac{Af}{Bsf} \tag{4}$$

$$Rmf = \frac{Bsf}{Bspa} \tag{5}$$

$$Raf = Afe.Rmf \tag{6}$$

em que *Bsf* se refere à biomassa seca das folhas ($g.planta^{-1}$); *Bspa* à biomassa de matéria seca da parte aérea ($g.planta^{-1}$) e *Afe* à área foliar específica. (m^2. g^{-1}).

3.5 Experimento II

Com o propósito de melhor entendimento da variabilidade espacial da produção da cultura de soja, foram avaliadas as variações dos componentes de produtividade da cultura da soja, e associá-los com os atributos químicos do solo.

Por ocasião da colheita, foram coletadas 30 plantas aleatórias, em um raio de 15 m do ponto central, nos mesmos 39 pontos de coleta de solo, totalizando 1170 plantas na área experimental. Os parâmetros de planta avaliados foram: altura de planta, número de ramos por planta, número de ramos; número de nós na haste; número de nós nos ramos; número de nós férteis na haste; número de nós férteis nos ramos; número de legumes com um grão na haste; número de legumes com dois grãos na haste; número de legumes com três grãos na haste; número de legumes com mais de três grãos na haste; número de legumes com um grão nos ramos; número de legumes com dois grãos nos ramos; número de legumes com três grãos nos ramos; número de legumes com mais de três grãos nos ramos e massa de 100 grãos.

3.6 Análise estatística

Para cada atributo de solo e planta, foi procedida a análise estatística descritiva, com o auxílio do software *Statistical Analysis System* (SAS), 1999. A existência de tendência central (normalidade) dos dados originais foi realizada por meio do Teste SW ($p < 0,05$) (SHAPIRO; WILK, 1965). Para caracterizar a variabilidade espacial dos atributos estudados, os dados foram analisados utilizando o método geoestatístico de interpolação por *krigagem* linear simples. A espacialização da variabilidade dos atributos foi procedida por meio de estruturação de modelos digitais, interpolações matemáticas e da elaboração dos mapas

temáticos de condição, utilizando o programa computacional Sistema CR - Campeiro 7 (GIOTTO; ROBAINA, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para caracterizar a variabilidade espacial dos atributos químicos estudados, os dados foram analisados utilizando o método geoestatístico de interpolação por *krigagem* linear simples, onde os pesos são atribuídos todos iguais a 1/N (N= número de amostras), com raio máximo de pesquisa de 250 m.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos a partir da análise da estatística descritiva dos atributos químicos do solo na área experimental. A discrepância entre os valores mínimos e máximos comprovam a existência de grande variabilidade na área, comprovada pela ocorrência de distribuições assimétricas, ou seja, não apresentam distribuição normal.

Com base no Teste de Shapiro-Wilk (5%), a argila, capacidade de troca de cátions efetiva, saturação por bases, potássio, magnésio e o manganês apresentaram valores que seguem a distribuição normal (Tabela 3). Os demais atributos não seguiram a distribuição normal dos dados, podendo ser comprovado pelos valores dos coeficientes de assimetria e curtose observados. Esses resultados concordam com os dados observados por diversos autores (COELHO, 2003; CORA et al., 2004; CORA; BERALDO, 2006; GOMES et al., 2008; SILVA et al., 2008; CHERUBIN, 2013). Cabe salientar que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística.

Quanto à dispersão relativa dos dados, fornecida pelos valores dos coeficientes de variação (CV%), os atributos que apresentaram os valores de CV% altos (WARRICK; NIELSEN, 1980) foram a saturação por alumínio (105,78%), e os teores de alumínio (99,55%), fósforo (47,23%) e manganês (46,46%) (Tabela 3). Para os dois primeiros atributos, essa variação pode ser atribuída ao fato que a maioria dos pontos amostrados apresentou valores zero. Já as variações observadas para o fósforo e o manganês concordam com os resultados encontrados por diversos autores, em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul (PONTELLI, 2006; SANTI, 2007; DELLAMEA, 2008; AMADO; SANTI; TEIXEIRA, 2009, CHERUBIN, 2013).

Tabela 3 - Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), médios (Me), da mediana (Md) e máximos (Mx), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV, %), assimetria (As), curtose (Ct) e teste de Shapiro-Wilk (SW) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental – coleta 2010. Boa Vista das Missões, RS

Atributo	Parâmetros estatísticos								
	Mn	Me	Md	Mx	s	CV	As	Ct	SW[(1)]
Argila (%)	47,00	60,05	60,00	73,00	6,13	10,21	0,05	-0,36	0,98^{ns}
$CTC_{efetiva}$ ($cmol_c.dm^{-3}$)	13,10	14,99	15,20	17,60	0,97	6,50	0,08	0,14	0,96^{ns}
pH (1:1)	5,10	5,50	5,40	5,90	0,16	2,99	0,55	0,36	0,86*
Alumínio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,00	0,09	0,10	0,90	0,09	99,55	1,09	1,56	0,82*
Saturação por Bases (%)	44,90	63,00	63,50	78,20	5,84	9,27	-0,31	1,92	0,96^{ns}
Saturação por Alumínio (%)	0,00	1,02	1,00	4,80	1,08	105,78	1,40	2,70	0,82*
Matéria Orgânica (%)	0,70	4,19	4,30	4,90	0,65	15,54	-4,17	22,40	0,59*
Fósforo ($mg.dm^{-3}$)	3,20	12,17	12,00	28,80	5,75	47,23	1,00	1,17	0,93*
Potássio ($mg.dm^{-3}$)	128,00	181,20	181,00	223,00	24,80	13,69	-0,28	-0,80	0,96^{ns}
Cálcio ($cmol_c.dm^{-3}$)	5,10	6,35	6,30	8,90	0,73	11,45	1,06	2,55	0,93*
Magnésio ($cmol_c.dm^{-3}$)	1,90	2,67	2,60	3,60	0,40	15,06	0,43	-0,37	0,97^{ns}
Enxofre ($mg.dm^{-3}$)	4,90	16,08	16,40	21,10	3,25	20,23	-1,10	2,42	0,94*
Cobre ($mg.dm^{-3}$)	1,30	4,24	3,90	9,20	1,41	33,22	1,21	3,08	0,92*
Manganês ($mg.dm^{-3}$)	4,00	23,10	21,00	54,00	10,73	46,46	0,87	0,84	0,95^{ns}
Zinco ($mg.dm^{-3}$)	2,40	4,26	4,10	9,30	1,13	26,40	2,44	9,94	0,80*
Boro ($mg.dm^{-3}$)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

[(1)] Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal: [(*)] significativo em níveis de $p \leq 0,05$ e [(ns)] não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada. ND: Teores não determinados. Mn. = Mínimo; Méd. = Média; Mx. = Máxima; s = Desvio Padrão

O semivariograma referente aos atributos químicos do solo da área experimental (Tabela 3) foi realizado utilizando diferentes modelos (gaussiano, exponencial, esférico e linear), no qual foi utilizado como parâmetro de escolha para o melhor coeficiente de correlação (r^2). Alguns autores encontraram em seus estudos, os melhores ajustes utilizando o modelo esférico e exponencial (CAMBARDELLA et al., 1994; CORA et al., 2004; GOMES et al., 2008; AMADO; SANTI; TEIXEIRA, 2009). O alumínio, a saturação por alumínio e o manganês apresentaram efeito pepita puro, ou seja, os dados não apresentam relação de dependência espacial, sendo considerados de ocorrência aleatória.

A estrutura da dependência espacial variou em função dos atributos classificando-se, na maioria dos casos, moderada e fraca (Tabela 4). Já os alcances do semivariograma variaram de 484 m a 3110 m. Essa variação e escala possivelmente foi afetada pela escala de amostragem (173,73 x 173,73 m) colaborando com afirmações de Trangmar et al. (1985) e

Vieira (2000). Dentre os atributos químicos o fósforo foi o nutriente com menor alcance devendo ser o elemento prioritário para a definição de uma malha de amostragem ou programa de adubação de forma que se represente eficientemente a variabilidade espacial na área.

Tabela 4 – Análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance – Ac – referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Índice de Dependência Espacial – IDE – e Classe - C) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental. Boa Vista das Missões, RS

Atributo	Pp	Pt	Ac	Modelo	Dependência Espacial	
					IDE	C
Argila (%)	22,60	82,20	1320	Gaussiano	27,49	Moderada
CTC $_{efetiva}$ ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,79	1,57	3110	Exponencial	50,31	Moderada
pH (1:1)	0,02	0,03	1094	Linear	66,67	Moderada
Alumínio ($cmol_c.dm^{-3}$)	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
Saturação por bases (%)	29,36	58,73	3110	Exponencial	49,99	Moderada
Saturação por alumínio (%)	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
Matéria orgânica (%)	0,08	0,16	3110	Esférico	50,00	Moderada
Fósforo ($mg.dm^{-3}$)	0,10	36,75	484	Esférico	0,27	Forte
Potássio ($mg.dm^{-3}$)	319,00	2748,00	1905	Gaussiano	11,60	Forte
Cálcio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,43	0,53	1094	Linear	81,11	Fraca
Magnésio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,10	0,41	2747	Exponencial	24,39	Forte
Enxofre ($mg.dm^{-3}$)	10,35	10,55	1094	Linear	98,10	Fraca
Cobre ($mg.dm^{-3}$)	0,001	2,38	673	Esférico	0,0004	Forte
Manganês ($mg.dm^{-3}$)	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
Zinco ($mg.dm^{-3}$)	1,03	2,13	3110	Esférico	48,35	Moderada

EPP: Efeito Pepita Puro

4.1 Experimento I

Na safra 2010/2011, apenas o índice de área foliar e razão de massa foliar apresentaram valores que seguem a distribuição normal pelo Teste de Shapiro-Wilk (5%) (Tabela 5). Já na safra 2011/2012, apenas a área foliar específica teve esse desempenho. Esse índice de crescimento, que é a razão entre área foliar e massa seca das folhas, pode ter sido influenciado pelo *deficit* hídrico ocorrido nessa safra, onde no mês de dezembro choveu apenas 61 mm e houve um período de 17 dias sem precipitação, o que de certa forma comprometeu o desenvolvimento da cultura. Isso também pode ser comprovado pelo índice de área foliar, onde os valores obtidos na safra 2010/2011 variaram de 0,494 a 0,641 e na safra 2011/2012 tiveram valores reduzidos, variando de 0,177 a 0,214.

Embora Gazzoni (1974) afirmar serem os estádios de R_2/R_3 como os de máximo índice de área foliar, nesse estudo procurou-se realizar avaliações mais precoces (V_4) quando é a fase crítica de matocompetição, ataque de pragas da parte aérea e fixação de nitrogênio em plena evolução, no sentido de, em havendo influência na produtividade, ser possível intervir agronomicamente sobre o manejo da cultura de maneira a alterar seu índice de área foliar (Tabela 5).

O índice de área foliar no estádio avaliado nesse estudo (V_4), varia de 0,300 a 1,000, porém nem sempre é possível detectar causas de diferenças de produção pela análise de crescimento, tornando-se necessário medir outros atributos de crescimento (BENINCASA, 1988). No entanto, como neste estudo, nos 117,17 ha, trata-se de uma mesma variedade cultivada, do ponto de vista agronômico, a análise de crescimento mostrou diferenças funcionais e estruturais entre os pontos amostrais, e consequentemente, variáveis na área experimental.

Segundo a classificação de Pimentel Gomes e Garcia (2002) a variabilidade de um atributo pode ser avaliada pela ordem de grandeza do coeficiente de variação (CV%), classificada como: a) baixa (CV $\leq$10%), b) média (10% < CV $\leq$ 20%), c) alta (20% < CV $\leq$ 30%) e d) muito alta (CV > 30%). Pela análise descritiva dos componentes morfológicos (Tabela 5), a massa de matéria seca da parte aérea e a massa seca das folhas foram as variáveis com os coeficientes de variação mais elevados, considerados altos. Por sua vez, a razão de massa foliar representou baixa variabilidade observada pelo baixo coeficiente de variação (4,63%) na safra 2010/2011 e desempenho inverso na safra 2011/2012, apresentando o maior coeficiente de variação (18,47%).

Tabela 5 – Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), médios (Me), da mediana (Md) e máximos (Mx), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV, %), assimetria (As), curtose (Ct) e teste de Shapiro-Wilk (SW) referentes aos componentes morfológicos (*IAF*: índice de área foliar – $m^2.m^{-2}$; *BSPA*: biomassa de matéria seca da parte aérea – $g.planta^{-1}$; *BSF*: biomassa de matéria seca de folha – $g.planta^{-1}$; *AFE*: área foliar específica – $g.m^{-2}$; *RMF*: razão de massa foliar; *RAF*: razão de área foliar) da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS

Atributo	Parâmetros estatísticos								
	Mn	Me	Md	Mx	s	CV	As	Ct	SW[(1)]
	Safra 2010/2011 (Cultivar Nidera 5909 RG)								
IAF	0,494	0,686	0,641	1,200	0,14	19,83	1,69	4,30	0,87*
BSPA	11,190	21,550	21,300	36,300	6,07	28,19	0,67	0,27	$0,96^{ns}$
BSF	7,380	12,890	12,410	21,280	3,44	26,70	0,68	0,11	$0,95^{ns}$
AFE	0,018	0,025	0,025	0,037	0,004	16,95	0,78	0,88	$0,95^{ns}$
RMF	0,547	0,603	0,594	0,687	0,03	4,63	0,98	1,60	0,94*
RAF	0,028	0,055	0,042	0,042	0,01	16,18	0,26	-0,29	$0,97^{ns}$
	Safra 2011/2012 (Cultivar Nidera 6411 RG)								
IAF	0,177	0,022	0,214	0,255	0,02	8,88	0,02	-0,64	$0,99^{ns}$
BSPA	0,471	0,601	0,605	0,767	0,06	9,66	0,52	1,39	$0,95^{ns}$
BSF	30,513	44,473	45,390	58,440	6,20	13,90	-0,42	0,24	$0,97^{ns}$
AFE	0,002	0,002	0,002	0,003	0,01	15,91	2,31	3,53	0,39*
RMF	44,947	74,350	74,043	108,450	13,74	18,47	0,24	0,73	$0,97^{ns}$
RAF	0,116	0,163	0,164	0,215	0,02	14,21	0,18	0,06	$0,98^{ns}$

[(1)] Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal: [(*)] significativo em níveis de $p \leq 0,05$ e [(ns)] não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os componentes morfológicos da cultura de soja nas duas safras estudadas. Todos os parâmetros apresentaram dependência espacial. Para a safra 2010/2011, os modelos ajustados foram exponencial e esférico com dependência forte e moderada, respectivamente. O menor alcance foi obtido para a área foliar (549 m) e o maior para razão de massa foliar e razão de área foliar (3110 m). Já para a safra 2011/2012, em virtude do *deficit* hídrico ocorrido, a área foliar teve dependência fraca e a área foliar específica e razão de área foliar apresentaram efeito pepita puro. Estes resultados merecem cautela, uma vez que os semivariogramas foram gerados utilizando um limitado número de pontos (39). Webster e Lark (2012) alertam que ao utilizar de 30 a 50 pares de pontos para cada distância, como é indicado por alguns autores, pode implicar, quase inevitavelmente, em estimativas pouco acuradas e semivariogramas com altos níveis de erro. Isso sugere que em outros estudos sejam contemplados tais pressupostos.

Tabela 6 - Análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance – Ac – referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Índice de Dependência Espacial – IDE – e Classe - C) referentes aos componentes morfológicos (*IAF*: índice de área foliar – $m^2.m^{-2}$; *BSPA*: biomassa de matéria seca da parte aérea – $g.planta^{-1}$; *BSF*: biomassa de matéria seca de folha – $g.planta^{-1}$; *AFE*: área foliar específica – $g.m^{-2}$; *RMF*: razão de massa foliar; *RAF:* razão de área foliar) da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS

Atributo	Pp	Pt	Ac	Modelo	Dependência espacial	
					IDE	C
Safra 2010/2011 (Cultivar Nidera 5909 RG)						
IAF	0,003	0,020	579	Exponencial	14,25	Forte
BSPA	7,70	50,21	1,269	Exponencial	15,33	Forte
BSF	5,29	15,72	1,189	Esférico	33,65	Moderada
AFE	0,00002	0,00004	982	Esférico	50,00	Moderada
RMF	0,0006	0,0012	3,110	Esférico	50,00	Moderada
RAF	0,00003	0,0001	3,110	Esférico	30,00	Moderada
Safra 2011/2012 (Cultivar Nidera 6411 RG)						
IAF	0,00032	0,00044	1,094	Linear	72,73	Moderada
BSPA	0,00308	0,00416	1,094	Linear	74,04	Moderada
BSF	-	-	-	-	-	-
AFE	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
RMF	147,7	295,5	3,110	Esférico	49,98	Moderada
RAF	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP

Para identificar a dependência espacial à construção do semivariograma origina-se nas diferenças entre dois pontos georreferenciados no espaço, separado por uma distância. Neste trabalho, a distância entre os pontos foi de 173,73 x 173,73 m o que justifica os valores de alcance obtidos. Em relação ao efeito pepita observado para a biomassa seca da parte aérea (7,70) e biomassa seca das folhas (5,29) alguns autores afirmam que o fato dele ocorrer pode estar associado a algum erro de medição (VIEIRA, 1998). O tamanho da malha amostral utilizada não foi eficiente em discriminar a variabilidade dessas duas variáveis. Esse comportamento já foi observado nas pesquisas com minerais de distribuição geralmente errática como depósitos de ouro (GUERRA, 1988).

As correlações de Pearson entre os componentes morfológicos de soja (safra 2010/2011 e 2011/2012) e os atributos do solo encontram-se na Tabela 7. Os atributos de acidez (pH, alumínio, saturação por bases e saturação por alumínio) foram os que melhor se correlacionaram com os parâmetros morfológicos. Embora tenha sido aplicado calcário em taxa variada plena no ano de 2008, baseado na variabilidade desses parâmetros de solo, possivelmente ainda não houve a elevação do pH e a eliminação do alumínio tóxico com

melhorias na saturação de bases. Essa mesma constatação foi obtida por Amado, Santi e Teixeira (2009) nas culturas de feijão e milho irrigados.

O magnésio apresentou correlações negativas com a área foliar, índice de área foliar, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca de folhas, enquanto o manganês teve uma correlação positiva com essas variáveis (Tabela 7). Esse desempenho do magnésio pode estar relacionado com suas interações com o cálcio e, portanto, com a necessidade de calcário. Já em relação ao manganês, Tanaka e Mascarenhas (1992) atribuíram aos teores de manganês as correlações positivas entre a produtividade de grãos e o teor de óleo o que, por sua vez, influencia no peso de grãos. Os teores de manganês no solo variaram de 4 a 54 $mg.dm^{-3}$ porém a média ficou em 21 $mg.dm^{-3}$. Segundo Gordon (2007), variedades de soja resistentes ao glifosato não acumulam manganês da mesma maneira que variedades convencionais e que podem responder a aplicação ou aos elevados teores do elemento no solo em ambientes altamente produtivos.

Esses resultados contradizem o que se observa em outros trabalhos (ESCOSTEGUY et al., 2006) de que quando a concentração de manganês é elevada na solução do solo, há acréscimo expressivo desse elemento no tecido foliar podendo ocasionar o decréscimo da absorção de ferro e de magnésio, da síntese de clorofila e de auxinas nas plantas (MALAVOLTA, 1980) reduzindo a produtividade de grãos devido a inibição da nodulação, decréscimo do número de vagens, do peso e do tamanho de grãos (OLIVEIRA JUNIOR; MEDEIROS; MOREIRA, 2000). Uma das justificativas que colabora com as observações deste experimento é que o que importa não é a concentração de manganês no volume total do solo, mas a concentração existente no solo imediatamente aderido à superfície das raízes que depende do bom desenvolvimento do sistema radicular para a absorção de manganês.

Tabela 7 - Correlação de Pearson entre os componentes morfológicos (*IAF*: índice de área foliar – $m^2.m^{-2}$, *BSPA*: Biomassa de matéria seca da parte aérea, *BSF*: biomassa de matéria seca de folhas, *AFE*: área foliar específica, *RMF*: razão de massa foliar, *RAF*: razão de área foliar) da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS

Variável	IAF	BSPA	BSF	AFE	RMF	RAF
Safra 2010/2011 (Cultivar Nidera 5909 RG)						
Argila (%)	-0,084	-0,379	-0,370	0,555	0,234	0,521
pH (1:1)	-0,478	-0,581	-0,596	0,430	0,093	0,445
Fósforo ($mg.dm^{-3}$)	0,076	0,227	0,235	-0,366	-0,122	-0,352
Potássio ($mg\ dm^{-3}$)	-0,009	-0,189	-0,227	0,255	-0,238	0,362
Matéria Orgânica (%)	0,179	0,190	0,210	-0,120	0,102	-0,167
Alumínio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,648	0,683	0,710	-0,368	-0,061	-0,393
Cálcio ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,295	-0,191	-0,214	-0,021	-0,096	0,029
Magnésio ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,454	-0,480	-0,496	0,303	0,021	0,343
CTC efetiva ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,296	0,337	0,327	-0,219	-0,225	-0,151
Saturação por bases (%)	-0,592	-0,575	-0,598	0,289	0,054	0,313
Saturação por Alumínio (%)	0,673	0,674	0,699	-0,321	-0,063	-0,343
Enxofre ($mg.dm^{-3}$)	-0,101	-0,174	-0,175	0,174	0,105	0,163
Cobre ($mg.dm^{-3}$)	0,040	-0,179	-0,192	0,448	-0,029	0,470
Manganês ($mg.dm^{-3}$)	0,448	0,368	0,336	-0,005	-0,271	0,058
Zinco ($mg.dm^{-3}$)	0,196	0,323	0,361	-0,388	0,036	-0,420
Produtividade de soja	-0,477	-0,391	-0,370	-0,060	0,206	-0,116
Safra 2011/2012 (Cultivar Nidera 6411 RG)						
Argila (%)	0,126	0,048	-0,095	0,009	-0,092	0,046
pH (1:1)	0,038	0,017	0,018	-0,148	0,014	-0,002
Fósforo ($mg.dm^{-3}$)	-0,081	0,038	0,150	-0,280	0,069	-0,061
Potássio ($mg.dm^{-3}$)	0,143	-0,195	0,163	-0,229	0,216	0,211
Matéria Orgânica (%)	-0,033	0,165	0,052	0,074	-0,042	-0,112
Alumínio ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,116	-0,165	0,030	0,103	0,078	0,031
Cálcio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,061	-0,152	0,133	-0,260	0,160	0,118
Magnésio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,117	-0,056	-0,010	-0,163	0,020	0,091
CTC efetiva ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,094	-0,086	0,057	-0,003	0,049	0,075
Saturação por bases (%)	0,060	-0,114	0,066	-0,271	0,116	0,112
Saturação por Alumínio (%)	-0,117	-0,155	0,025	0,128	0,069	0,023
Enxofre ($mg.dm^{-3}$)	-0,069	-0,059	-0,028	0,186	0,014	0,008
Cobre ($mg.dm^{-3}$)	0,179	0,012	-0,118	0,261	-0,103	0,082
Manganês ($mg.dm^{-3}$)	0,171	-0,056	-0,100	0,322	-0,076	0,116
Zinco ($mg.dm^{-3}$)	0,018	0,099	0,076	-0,105	-0,027	-0,082
Produtividade (soja)	-	-	-	-	-	-

Para a safra 2011/2012 observou-se que nenhum elemento teve altas correlações com os atributos morfológicos (Tabela 7). Isso pode ser justificado também pelas baixas precipitações ocorridas nos períodos que antecederam a amostragem de planta. De modo geral e de acordo com Rosenthal, Arkin e Shouse (1987) a taxa relativa de transpiração ou expansão foliar está correlacionada à fração de água disponível. A resposta mais proeminente das plantas ao *deficit* hídrico, segundo McCree e Fernández (1989) e Taiz e Zeiger (2004), consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas.

A área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas e seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta a *deficit* hídrico (FERNÁNDEZ; McINNES; COTHREN, 1996). Isso geralmente acontece porque sob condições de *deficit* hídrico, o equilíbrio entre a produção de assimilados e a demanda para o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos é severamente afetado pela redução na área foliar fotossinteticamente ativa (GERIK; FAVER; THAXTON, 1996).

Em relação à produtividade para a safra 2010/2011, percebe-se uma correlação negativa entre todos os atributos morfológicos, com exceção da RMF (Tabela 7). Isso pode ter sido influenciado palas condições climáticas satisfatórias (precipitação normal) ocorridas durante a fase de desenvolvimento da cultura. Segundo a Embrapa (1999), a necessidade de água na soja aumenta com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo no florescimento-enchimento de grãos e decresce depois desse estádio fenológico.

Como não ocorreu nenhum problema durante esses estádios e existiam problemas de calagem em locais específicos na área, as alterações fisiológicas nas plantas, como a queda prematura de folhas e a redução do desenvolvimento também foram variáveis. Isso permitiu um bom desenvolvimento das plantas e da sua área foliar em locais específicos, o que pode ter contribuído para ocorrência de sombreamento excessivo nos estádios reprodutivos desencadeando aborto de flores e legumes nas regiões da área experimental com maior oferta ambiental.

Na safra 2011/2012 ocorreram problemas no armazenamento dos dados no cartão de memória da colhedora e os dados de produtividade foram perdidos. Esse ainda é um dos principais problemas a campo que tem limitado o uso dos mapas de colheita em escala comercial (EITELWEIN, 2013).

4.2 Experimento II

A análise descritiva dos componentes de produção da cultura da soja nas duas safras encontra-se na Tabela 8. Na safra 2010/2011, a densidade média de plantas por ha foi de 264.444 plantas e a máxima de 283.997 plantas por ha, ficando dentro dos limites preconizados para essa variedade cultivada. O número de nós na haste variou de 18 a 21, dentro dos limites descritos (15 a 20 nós). Houve presença de legumes com mais de três grãos, não comum nessa variedade (duas a três sementes por legume), no entanto, em termos médios, a maior proporção, tanto na haste como nos ramos foi três sementes por legume, seguida de duas sementes por legume. A variedade mostrou estabilidade de produção, fato este comprovado pela frequência de legumes com três grãos cuja superioridade, tanto na haste como nos ramos, em relação a legumes com um grão, foi de 440%.

Os dados com maior dispersão foram o número de legumes com mais de três grãos na haste (CV = 299,67%) e número de legumes com mais de três grãos nos ramos (CV = 252,47%) (Tabela 8). Isso se justifica por não ser uma característica intrínseca da variedade.

As variáveis h (altura), NR (número de ramos), NNH (número de nós na haste), NNR (número de nós nos ramos), NNFH (número de nós férteis na haste), NL3GH (número de legumes com três grãos na haste), NL>3GH (número de legumes com mais de três grãos na haste), NL2GR (número de legumes com dois grãos nos ramos) e NL>3GR (número de legumes com mais de três grãos nos ramos) não apresentaram distribuição normal, o que demonstra que mesmo usando uma grade amostral regular de 173,73 x 173,73 m, foi possível encontrar variabilidade espacial, e pode ser estudada baseada nos pressupostos da agricultura de precisão (Tabela 8). Esses resultados corroboram com Pires (2002), de que essas técnicas podem permitir avaliar a variabilidade espacial bem como a ocorrência de padrões (manchas) de áreas de lavoura associadas, por exemplo, com espaço disponível por planta, ou, ainda, com componentes de produção.

Quanto ao número de grãos por legume, parece haver uma inversão entre a presença de legumes com dois e três grãos. Há normalidade quanto à presença de dois grãos por legumes na haste e três grãos por legume nos ramos, porém, a formação de legumes com três grãos na haste apresenta variabilidade (Tabela 8). Isso se deve ao ótimo potencial de engalhamento da variedade e as variações de densidade de plantas combinado com a variação de altura de planta.

Para a safra 2011/2012, a densidade de plantas teve uma maior variação que na safra anterior variando de 6,78 a 14,78 plantas.m^{-1} (Tabela 8). Por outro lado, a altura de plantas foi menor que na safra anterior, justificado pelo hábito de crescimento determinado da variedade

cultivada 6411 RG e também pela influência do *deficit* hídrico ocorrido nessa safra (Tabela 1). Outra evidência desse fato foi a maior frequência de legumes com dois grãos tanto na haste principal (média 7,34) como nos ramos (média 6,86).

Na tabela 8 podem-se observar os maiores coeficientes de variação no NL3GR (número de legumes com três grãos nos ramos), NL1GR (número de legumes com um grão nos ramos), NL1GH (número de legumes com um grão na haste) e NL3GH (número de legumes com três grãos na haste). Esses resultados reforçam a discussão anterior uma vez que, tratando-se da análise da distribuição espacial, justamente os extremos (um e três grãos) apresentaram as maiores variabilidades. No entanto, é preciso considerar que a genética do material utilizado também pode influenciar e, em condições similares a esse experimento, a tendência de legumes com dois grãos.

Porém, a maior perda percentual de potencial de produtividade, é motivada mais significativamente pelo aborto de flores e de legumes do que propriamente por grãos no interior dos legumes (DALCHIAVON; CARVALHO, 2012). Por sua vez, essas variáveis geralmente têm causa decorrente de questões nutricionais ou incidência de pragas e doenças, mas Reichert e Costa (2001) observaram que a maior redução foliar no estádio vegetativo, aumentou a produção de legumes, e afetou o enchimento dos legumes, apresentando o menor peso de grãos. Essa é uma forma da planta compensar a redução da área foliar, pois o número de legumes por planta é o componente mais afetado pelo desfolhamento e o principal responsável pela redução da produtividade, concordando com as observações feitas por Board e Harvile (1994) e Gazzoni e Moscardi (1998).

Tabela 8 - Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), médios (Me), da mediana (Md) e máximos (Mx), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV, %), assimetria (As), curtose (Ct) e teste de Shapiro-Wilk (SW) referentes aos dos componentes de produção da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS

Componentes de produção	Parâmetros estatísticos								
	Mn	Me	Md	Mx	s	CV	As	Ct	SW[(1)]
Safra 2010/2011 (Cultivar Nidera 5909 RG)									
Dp	10,56	11,90	12	12,78	0,57	4,82	-0,053	-0,14	0,96^{ns}
h	93	102,49	101	119	5,88	5,74	0,92	0,81	0,93*
NR	7	7,97	8	9	0,74	9,32	0,04	-1,13	0,81*
NNH	18	18,89	19	21	0,82	4,34	0,8	0,48	0,82*
NNR	24	32,18	32	39	3,81	11,84	-0,18	-0,55	0,98^{ns}
NNFH	8	9,36	9	11	0,63	6,7	0,9	0,75	0,74*
NNFR	20	24,82	25	33	2,54	10,25	0,91	1,86	0,94^{ns}
NL1GH	1,27	2,47	2,4	3,5	0,47	18,96	-0,17	0,51	0,97^{ns}
NL2GH	7,60	9,50	9,43	11,76	1,04	10,95	0,22	-0,58	0,98^{ns}
NL3GH	8,70	10,87	10,60	14,6	1,35	12,39	0,9	0,59	0,94*
NL>3GH	0	0,003	0	0,03	0,01	299,67	2,73	5,72	0,34*
NL1GR	3,80	5,63	5,7	7,9	0,99	17,57	0,08	-0,47	0,98^{ns}
NL2GR	14,87	9,36	17,97	25,9	2,23	12,26	1,13	2,32	0,93*
NL3GR	8,93	24,82	13,7	20,1	2,46	17,93	0,56	0,79	0,97^{ns}
NL>3GR	0	0,006	0	0,07	0,01	252,47	2,63	6,86	0,45*
M100	14,40	15,85	15,82	17,23	0,47	2,96	-16	2,6	0,95^{ns}
Safra 2011/2012 (Cultivar Nidera 6411 RG)									
Dp	6,78	12,19	12,44	14,78	1,19	9,77	-2,27	10,97	0,79*
h	52,47	73,01	73,67	89,17	6,54	8,96	-0,83	2,65	0,92*
NR	2,47	3,62	3,63	4,80	0,51	14,17	-0,13	-0,24	0,99^{ns}
NNH	14,03	17,31	17,37	19,30	1,17	6,74	-0,63	0,42	0,96^{ns}
NNR	8,70	17,75	17,59	23,20	3,02	17,01	-0,56	0,79	0,97^{ns}
NNFH	8,20	11,00	11,13	14,93	1,29	11,72	0,15	1,66	0,96^{ns}
NNFR	5,67	10,96	11,17	16,67	2,06	18,76	-0,11	1,24	0,97^{ns}
NL1GH	0,93	1,94	1,97	3,10	0,52	27,00	0,09	0,05	0,97^{ns}
NL2GH	4,13	7,34	7,77	9,20	1,34	18,23	-0,69	-0,21	0,94*
NL3GH	4,77	6,87	6,46	12,40	1,70	24,72	1,33	1,91	0,89*
NL>3GH	0,00	0,01	0,00	0,22	0,04	1,97	4,44	20,35	0,29*
NL1GR	0,90	1,77	1,67	2,80	0,50	28,18	0,33	-0,67	0,97^{ns}
NL2GR	3,67	6,86	6,76	10,06	1,52	22,18	-0,01	-0,12	0,98^{ns}
NL3GR	2,83	5,97	5,53	12,37	2,01	33,70	1,25	1,79	0,90*
NL>3GR	0,00	0,01	0,00	0,07	0,01	1,99	3,46	12,47	0,35*
M100	17,10	18,57	18,58	19,88	0,61	3,29	0,14	0,31	0,98^{ns}

[(1)] Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal: [(*)] significativo em níveis de $p \leq 0,05$ e [(ns)] não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada. Dp: densidade de plantas (plantas.m^{-1}); h: altura (cm) de plantas; NR: número de ramos; NNH: número de nós na haste; NNR: número de nós nos ramos; NNFH: número de nós férteis na haste; NNFR: número de nós férteis nos ramos; NL1GH: número de legumes com um grão na haste; NL2GH: número de legumes com dois grãos na haste; NL3GH: número de legumes com três grão na haste; NL>3GH: número de legumes com mais de três grão na haste; NL1GR: número de legumes com um grão nos ramos; NL2GR: número de legumes com dois grãos nos ramos; NL3GR: número de legumes com três grão nos ramos; NL>3GR: número de legumes com mais de três grão nos ramos; M100: massa de 100 grãos (g)

Para os componentes de produção, oito variáveis, tiveram seu ajuste pelo modelo esférico na safra 2010/2011 (Tabela 9). O número de nós férteis nos ramos, número de legumes com um grão na haste, número de legumes com mais de três grãos na haste e peso de 100 grãos apresentaram efeito pepita puro. O número de legumes com mais de três grãos nos ramos apresentou o menor alcance (1.094 m) e uma dependência espacial fraca.

O maior alcance foi de 3609 m para o número de nós nos ramos. As demais variáveis apresentaram dependência espacial moderada (Tabela 9). Segundo Cambardella et al. (1994), atributos que apresentam forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, notadamente a textura e a mineralogia, enquanto os que apresentam fraca dependência são mais influenciados por fatores externos, como aplicações de fertilizantes e sistemas de preparo e cultura, ou seja, estão relacionados com o manejo do solo.

O menor alcance (949 m) foi obtido no atributo altura de planta. Nas duas safras, percebem-se valores de alcance elevados (maiores que 900 m) (Tabela 9). Siqueira, Marques e Pereira (2010) ressaltam que isso acontece quando são utilizadas malhas amostrais maiores que 100m com pontos mais espaçados. A ineficiência das malhas amostrais utilizadas comercialmente também é apontada por Kerry e Oliver (2008), Kerry, Oliver e Frogbrook. (2010) e Franzen (2011) nos Estados Unidos. Para condições brasileiras, os resultados desse estudo concordam com os obtidos por Corá e Beraldo (2006) e Nanni et al. (2011) que recomendam malhas mais densas para captar a variabilidade espacial de atributos de solo como saturação de alumínio e recomendação de corretivos com maior acurácia.

Para componentes de produção e produtividade da soja, Dalchiavon e Carvalho (2012) sugerem que os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, em geral, não deverão ser menores do que 38,1 m, por representarem a distância dentro do qual os valores de um determinado atributo são dependentes entre si. Porém, o trabalho desses autores, que embasa essa sugestão foi realizado em uma área de 8,34 ha (26,37 m x 26,37 m). Contradizendo isso, Webster e Oliver (2007), Kerry, Oliver e Frogbrook (2010) e Webster e Lark (2012), afirmam que nem sempre isso é uma regra.

Tabela 9 – Análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance – Ac – referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Índice de Dependência Espacial – IDE – e Classe - C) referentes aos componentes de produção da cultura de soja (Variedade cultivada Nidera-5909-RG na safra 2010/2011 e Variedade cultivada Nidera 6411-RG na safra 2011/2012), Boa Vista das Missões, RS

Atributo	Pp	Pt	Ac	Modelo	Dependência Espacial	
					IDE	C
Safra 2010/2011 (Cultivar Nidera 5909 RG)						
h	26,30	58,03	3110	Esférico	45,11	Moderada
NR	0,39	0,79	3609	Exponencial	49,37	Moderada
NNH	0,41	1,33	3110	Esférico	30,83	Moderada
NNR	13,70	27,41	3110	Gaussiano	49,98	Moderada
NNFH	0,25	0,68	2620	Esférico	37,08	Moderada
NNFR	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
NL1GH	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
NL2GH	0,67	2,01	2675	Esférico	33,33	Moderada
NL3GH	1,45	2,90	3110	Esférico	50,00	Moderada
NL>3GH	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
NL1GR	0,75	1,50	3110	Esférico	50,00	Moderada
NL2GR	3,97	7,94	3110	Esférico	50,00	Moderada
NL3GR	4,68	9,36	3110	Esférico	50,00	Moderada
NL>3GR	0,00021	0,00024	1094	Linear	87,50	Fraca
M100	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
Safra 2011/2012 (Cultivar Nidera 6411 RG)						
h	22,06	46,81	949	Esférico	47,13	Moderada
NR	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
NNH	1,22	1,51	1093	Linear	80,79	Fraca
NNR	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
NNFH	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
NNFR	3,23	6,46	3110	Esférico	50,00	Moderada
NL1GH	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
NL2GH	1,25	2,49	2793	Exponencial	49,98	Moderada
NL3GH	-	-	-	-	-	-
NL>3GH	0,00	0,00	3110	Esférico	2,69	Forte
NL1GR	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
NL2GR	1,70	3,46	2535	Esférico	49,16	Moderada
NL3GR	-	-	-	-	-	-
NL>3GR	0,00	0,00	3110	Esférico	15,91	Forte
M100	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP

* h: altura (cm) de planta. NR: número de ramos. NNH: número de nós na haste. NNR: número de nós nos ramos. NNFH: número de nós férteis na haste. NNFR: número de nós férteis nos ramos. NL1GH: número de legumes com um grão na haste. NL2GH: número de legumes com dois grãos na haste. NL3GH: número de legumes com três grãos na haste. NL>3GH: número de legumes com mais de três grãos na haste. NL1GR: número de legumes com um grão nos ramos. NL2GR: número de legumes com dois grãos nos ramos. NL3GR: número de legumes com três grãos nos ramos. NL>3GR: número de legumes com mais de três grãos nos ramos. M100: massa (g) de 100 grãos. EPP: efeito pepita puro

Na Tabela 10 encontram-se as correlações entre os componentes morfológicos e de produção da cultura de soja para ambas as safras. Na safra 2010/2011, as correlações acima de 0,500 foram obtidas entre massa de matéria seca da parte aérea, biomassa seca das folhas, área foliar específica e o NL1GH (número de legumes com um grão na haste) e NL2GH (número de legumes com dois grãos na haste). À medida que aumentou a massa de matéria seca da parte aérea e a biomassa seca das folhas aumentaram o número de NL1GH (número de legumes com um grão na haste) e NL2GH (número de legumes com dois grãos na haste) (correlações positivas) já a área foliar específica apresentou correlação negativa com essas duas variáveis. Esse desempenho sugere que a cultura de soja, em algumas regiões na área estudada, está apresentando auto-sombreamento e, consequentemente, influenciando na fotossíntese, elongação da haste principal e ramificações, expansão foliar, pegamento de vagens e grãos e fixação biológica (CÂMARA, 2000).

Para a safra 2011/2012 a altura de plantas (h) foi a variável que mais se correlacionou com as demais variáveis morfológicas e influenciaram no NL3GR (número de legumes com três grãos nos ramos). Apenas a massa de matéria seca da parte aérea e área foliar específica apresentaram correlações negativas com a altura de plantas e, opostamente, correlações positivas com o NL3GR (número de legumes com três grãos nos ramos) (Tabela 10). Isso é importante, pois remete que, futuros estudos envolvendo arranjo espacial de plantas devam primar por ajustes populacionais que contemplem também as relações entre a estatura de plantas e a área foliar específica principalmente, em anos com tendência a *deficit* hídrico e/ou cultivares com potencial genético de legumes com três grãos. No caso do material estudado nessa safra (cultivar Nidera 6411 RG), a área foliar específica garantiu a emissão de legumes com três grãos nos ramos.

Uma questão importante, mas nem sempre possível de mensuração a campo, é relatada por Kolchinski et al. (2005) em que a análise individualizada das plantas de soja mostra que as plantas provenientes das sementes de alto vigor apresentam maior produtividade de grãos dentro das comunidades mas o maior número de legumes por planta é o componente que mais influencia a produtividade pois, o número de sementes por legumes e a massa de sementes, nem sempre diferem entre os tratamentos por ser uma característica genética da variedade cultivada. Esses autores observaram que quando a lavoura é implantada utilizando sementes com alto vigor, há acréscimos no índice de área foliar, na produção de matéria seca e na produtividade de grãos.

A interceptação de radiação solar é uma função do índice de área foliar, cujo valor crítico para interceptar 95% da radiação está em torno de 3,9 (SCHOFFEL; VOLPE, 2001;

PEREIRA; VRISMAN; GALVANI, 2002). Neste trabalho, o índice de área foliar, na safra 2010/2011, teve correlação negativa com o NR (número de ramos) e NNFR (número de nós férteis nos ramos), resultando em maior NL1GH (número de legumes com um grão na haste) e NL2GH (número de legumes com dois grãos na haste) (Tabela 10). Embora não tenha sido objeto de estudo neste trabalho, é provável que esteja ocorrendo variação na eficiência do uso de radiação afetada pelas variações de altitude na área (dados não apresentados) e regiões com temperatura mais elevadas.

Dalla Nora et al. (2013) observaram para milho que o ajuste da população de plantas, de acordo com a oferta específica de cada ambiente, otimizou a produtividade e proporcionou importante incremento econômico. Em culturas como a soja isso ainda precisa ser investigado e os resultados desse trabalho reforçam a importância do ajuste da população de plantas de soja a variabilidade de oferta ambiental na lavoura.

Tabela 10 - Correlação de Pearson entre os componentes morfológicos (h: altura (cm) de planta. NR: número de ramos. NNH: número de nós na haste. NNR: número de nós nos ramos. NNFH: número de nós férteis na haste. NNFR: número de nós férteis nos ramos. NL1GH: número de legumes com um grão na haste. NL2GH: número de legumes com dois grãos na haste. NL3GH: número de legumes com três grãos na haste. NL>3GH: número de legumes com mais de três grãos na haste. NL1GR: número de legumes com um grão nos ramos. NL2GR: número de legumes com dois grãos nos ramos. NL3GR: número de legumes com três grãos nos ramos. NL>3GR: número de legumes com mais de três grãos nos ramos. M100: massa (g) de 100 grãos) e de produção da cultura de soja nas safras 2010/2011 e 2011/2012, Boa Vista das Missões, RS

Atributo	h	NR	NNH	NNR	NNFH	NNFR	NL1GH	NL2GH	NL3GH	NL>3GH	NL1GR	NL2GR	NL3GR	NL>3GR	M100
Safra 2010/2011 (Cultivar Nidera 5909 RG)															
IAF	0,2826	-0,4717	0,1455	-0,2532	0,2471	-0,3188	0,3317	0,3791	0,2155	-0,0297	-0,2525	-0,2281	-0,1609	0,2038	-0,0843
BSTPA	0,4618	-0,4692	0,3040	-0,1222	0,3507	-0,2830	0,5685	0,5456	0,2870	0,1687	-0,2651	-0,3155	-0,2195	0,1377	0,1322
BSF	0,4677	-0,4671	0,3055	-0,1267	0,3364	-0,2823	0,5256	0,5643	0,2635	0,1441	-0,2663	-0,3094	-0,2414	0,1450	0,1394
AFE	-0,4096	0,2424	-0,3179	-0,0358	-0,2671	0,1319	-0,5078	-0,4955	-0,1852	-0,2829	0,2037	0,3246	0,2078	-0,0554	-0,3645
RMF	-0,1578	0,2089	-0,1078	-0,0376	-0,1557	0,0546	-0,5402	-0,1569	-0,2311	-0,1749	0,0930	0,1815	-0,1433	-0,0489	0,0175
RAF	-0,4068	0,1925	-0,3175	-0,0288	-0,2445	0,1278	-0,3732	-0,4724	-0,1388	-0,2462	0,1881	0,2911	0,2711	-0,0452	-0,3979
Safra 2011/2012 (Cultivar Nidera 6411 RG)															
IAF	0,504	-0,145	0,360	0,041	-0,070	-0,157	0,235	0,193	-0,064	-0,149	0,104	-0,134	-0,282	-0,229	0,190
BSTPA	-0,385	0,106	-0,073	0,129	0,079	0,236	0,057	-0,094	0,410	0,361	-0,123	0,204	0,427	0,348	0,190
BSF	0,685	-0,303	0,381	-0,129	0,025	-0,303	0,412	0,480	-0,406	-0,163	0,250	-0,019	-0,571	-0,330	0,204
AFE	-0,568	0,207	-0,448	0,242	-0,121	0,404	-0,332	-0,388	0,397	0,379	-0,141	0,205	0,676	0,449	-0,018
RMF	0,683	-0,318	0,277	-0,191	-0,047	-0,363	0,289	0,388	-0,479	-0,247	0,233	-0,122	-0,631	-0,354	0,031
RAF	0,542	-0,188	0,223	-0,81	-0,103	-0,260	0,143	0,172	-0,296	-0,276	0,146	-0,207	-0,446	-0,316	-0,012

* IAF: Índice de Área Foliar; BSTPA: Biomassa Seca Total da Parte Aérea; BSF: Biomassa Seca das Folhas; AFE: Área Foliar Específica; RMF: Razão de Massa Foliar; RAF: Razão de Área Foliar

Quando da correlação de Pearson entre atributos do solo e componentes de produção da safra 2010/2011, o teor de matéria orgânica do solo apresentou as maiores correlações (Tabela 11). Os parâmetros número de nós férteis nos ramos, número de legumes com um grão nos ramos, número de legumes com dois grãos nos ramos e número de legumes com três grãos nos ramos, apresentaram correlação negativa com o teor de matéria orgânica do solo. Essa relação inversa pode ser atribuída, em partes ao ótimo potencial de engalhamento da variedade e as variações de população de plantas já discutida anteriormente que, combinado com a variação de altura de planta, podem proporcionar aborto de unidades reprodutivas e, consequentemente, inibir a formação de grãos.

Ventimiglia et al. (1999), avaliando o potencial de produtividade de soja concluíram que, se nenhuma flor ou legume abortasse, a produtividade real de grãos partiria de 18 toneladas por ha (em R_2), 10 toneladas por ha (em R_5), chegando a cinco toneladas por ha (em R_8) isso porque, segundo Board e Harville (1994), o número de grãos produzidos está relacionado com o suprimento de fotoassimilados e tanto o aborto de flores como o aborto de legumes serve para manter a produção da planta dentro de um equilíbrio.

De uma maneira geral, todos os atributos químicos de solo tiveram baixa correlação com os componentes de produção da soja (Tabela 11). Tal comportamento condiz com resultados encontrados por Wells (1991, 1993) em que a produtividade de soja é influenciada pela capacidade da planta em interceptar a radiação solar e acumular matéria seca durante a fase vegetativa e a reprodutiva, sendo que, esse último, é dependente, também, de outros fatores como condições meteorológicas, data de semeadura, genótipo, população de plantas e espaçamento entre linhas.

Na safra 2011/2012 (Tabela 12), o atributo que mais se correlacionou com as variáveis de planta foi o fósforo, apresentando correlação positiva com o NNFH (número de nós férteis na haste) (0,381), NL1GH (número de legumes com um grão na haste) (0,446), NL2GH (número de legumes com dois grãos na haste) (0,446), NL1GR (número de legumes com um grão nos ramos) (0,547), NL2GR (número de legumes com dois grãos nos ramos) (0,421) e correlações negativas com o NL3GH (número de legumes com três grãos na haste) e NL3GR (número de legumes com três grãos nos ramos), embora esse tenha sido baixo, -0,116. Apesar dos teores no solo apresentem teor médio de 12,17 $mg.dm^{-3}$, há pontos com teores baixos (3,20 $mg.dm^{-3}$) que podem estar limitando a produtividade. Segundo Ventimiglia et al. (1999), a deficiência de P no solo

diminui o potencial de produtividade nos estádios reprodutivos iniciais, como o florescimento, pela menor produção de flores e maior aborto dessas estruturas; o efeito da deficiência de P continua a se manifestar na formação de menor quantidade e maior aborto de legumes, o que resulta na diminuição do potencial de produtividade. Além disso, o estresse hídrico ocorrido nessa safra (Tabela 1) deve ser considerado.

Tabela 11 - Correlação de Pearson entre atributos de solo e de componentes de produção da cultura de soja, safra 2010/2011, Boa Vista das Missões, RS

Atributo	h	NR	NNH	NNR	NNFH	NNFR	NL1GH	NL2GH	NL3GH	NL>3GH	NL1GR	NL2GR	NL3GR	NL>3GR	M100
Teor de Argila (%)	-0,2508	0,0407	-0,1453	-0,2605	-0,1758	-0,1512	-0,3763	-0,1099	-0,2016	-0,1704	0,0427	-0,0141	-0,1450	0,0786	-0,2327
pH (1:1)	-0,2567	0,1727	-0,0175	0,1125	-0,0855	0,1960	-0,2393	-0,1796	-0,1750	-0,1094	0,2276	0,2163	0,1635	-0,1830	0,0035
Fósforo ($mg.dm^{-3}$)	-0,1110	-0,0729	-0,2064	0,1184	-0,0015	0,1489	0,1144	-0,1077	-0,0271	0,0225	-0,3166	-0,0248	0,2349	0,3484	0,2085
Potássio ($mg.dm^{-3}$)	-0,2726	-0,0783	-0,3441	-0,1034	-0,2567	0,0044	-0,0311	-0,2736	-0,1480	-0,0305	-0,1846	0,1109	0,2667	0,1664	-0,0101
Matéria Orgânica (%)	-0,0466	-0,1905	-0,0847	-0,3048	0,0175	-0,5039	0,1418	0,1851	0,0057	0,1078	-0,4826	-0,5295	-0,3689	-0,0285	-0,0087
Alumínio ($cmol_c.dm^{-3}$)	0,3313	-0,2269	0,0609	-0,2021	0,1206	-0,2340	0,1879	0,2151	0,1641	-0,0721	-0,2064	-0,1361	-0,2500	0,0889	0,0578
Cálcio ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,2188	0,2410	-0,0492	0,0948	0,1069	0,1398	-0,1402	-0,1089	-0,1239	0,1196	0,0096	0,1048	0,0977	-0,2893	0,1736
Magnésio ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,3260	0,2352	-0,2411	0,1686	-0,2158	0,2132	-0,3104	-0,2164	-0,3743	-0,1016	0,1310	0,1916	0,1595	-0,2927	-0,1661
$CTC_{efetiva}$ ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,0168	-0,0223	-0,1696	-0,1483	0,0895	-0,1327	0,0078	0,0810	-0,1433	-0,0219	-0,3044	-0,0591	-0,0915	-0,1244	-0,0726
Saturação por bases (%)	-0,3272	0,2906	-0,0660	0,2279	-0,0924	0,2845	-0,2672	-0,2479	-0,1882	0,0691	0,2414	0,2181	0,2258	-0,2683	0,1081
Saturação por Alumínio (%)	0,3279	-0,2382	0,0561	-0,2199	0,1114	-0,2480	0,1834	0,2066	0,1686	-0,1022	-0,1871	-0,1377	-0,2554	0,0984	0,0381
Enxofre ($mg.dm^{-3}$)	0,0170	0,0139	-0,0186	0,0107	-0,1458	0,0676	0,0226	-0,0981	0,0618	-0,0847	0,0838	0,1225	-0,0084	0,0557	0,0283
Cobre ($mg.dm^{-3}$)	0,0264	-0,0218	0,0238	0,0680	-0,1371	0,0077	0,0488	0,0643	0,0168	-0,0331	0,2917	0,0194	0,1392	0,0177	-0,5045
Manganês ($mg.dm^{-3}$)	0,0113	0,0267	-0,0406	-0,0725	-0,0447	-0,1642	0,2573	0,1088	-0,0896	0,1323	-0,0649	-0,0810	-0,0948	-0,0233	-0,2988
Zinco ($mg.dm^{-3}$)	0,1310	-0,2340	0,1925	-0,0267	0,0373	-0,1448	0,1557	0,3397	0,1232	-0,0043	-0,3119	-0,2041	-0,2508	0,0243	0,0130
Produtividade de soja	-0,1826	0,3899	-0,0849	0,0608	-0,0490	0,1001	-0,1984	-0,1984	-0,0815	0,0203	0,0315	0,0831	0,1133	0,0314	0,3500

* h: altura (cm) de planta. NR: número de ramos. NNH: número de nós na haste. NNR: número de nós nos ramos. NNFH: número de nós férteis na haste. NNFR: número de nós férteis nos ramos. NL1GH: número de legumes com um grão na haste. NL2GH: número de legumes com dois grãos na haste. NL3GH: número de legumes com três grão na haste. NL>3GH: número de legumes com mais de três grão na haste. NL1GR: número de legumes com um grão nos ramos. NL2GR: número de legumes com dois grãos nos ramos. NL3GR: número de legumes com três grão nos ramos. NL>3GR: número de legumes com mais de três grão nos ramos. M100: massa (g) de 100 grãos

Tabela 12 - Correlação de Pearson entre atributos de solo e de componentes de produção da cultura de soja, safra 2011/2012, Boa Vista das Missões, RS

Atributo	h	NR	NNH	NNR	NNFH	NNFR	NL1GH	NL2GH	NL3GH	NL>3GH	NL1GR	NL2GR	NL3GR	NL>3GR	M100
Teor de argila (%)	0,169	-0,042	-0,252	-0,166	-0,360	-0,191	-o,211	-0,425	0,013	-0,114	-0,339	-0,361	-0,041	-0,160	-0,130
pH (1:1)	-0,053	-0,176	-0,068	-0,174	-0,206	-0,160	-0,108	-0,248	0,136	-0,155	-0,284	-0,348	-0,038	-0,161	-0,110
Fósforo ($mg.dm^{-3}$)	-0,093	0,168	0,016	0,011	0,381	0,171	0,446	0,446	-0,337	-0,027	0,547	0,421	-0,116	0,068	0,262
Potássio ($mg.dm^{-3}$)	0,215	-0,133	0,015	-0,152	-0,066	-0,213	0,047	0,010	-0,262	-0,141	0,042	-0,173	-0,328	-0,207	0,024
Matéria orgânica (%)	-0,029	-0,009	-0,051	0,078	-0,048	-0,006	0,175	0,194	-0,214	0,057	0,119	0,273	-0,070	0,003	-0,046
Alumínio ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,088	0,084	0,065	0,119	0,183	0,051	0,131	0,249	-0,222	0,082	0,231	0,206	-0,094	0,017	0,038
Cálcio ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,075	-0,214	0,126	-0,160	0,079	-0,170	0,170	0,226	-0,108	-0,213	0,031	-0,099	-0,292	-0,275	0,112
Magnésio ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,109	-0,158	-0,087	-0,184	-0,231	-0,186	-0,155	-0,187	0,049	-0,150	-0,231	-0,344	-0,100	-0,183	-0,232
CTC $_{efetiva}$ ($cmol_c.dm^{-3}$)	-0,066	-0,131	0,163	-0,047	0,130	-0,090	0,135	0,395	-0,234	-0,017	0,246	0,081	-0,262	-0,126	0,144
Saturação por bases (%)	-0,028	-0,181	-0,056	-0,194	-0,142	-0,181	-0,037	-0,149	0,078	-0,241	-0,248	-0,306	-0,127	-0,242	-0,113
Saturação por alumínio (%)	0,105	0,074	0,046	0,115	0,152	0,046	0,097	0,217	-0,205	0,079	0,200	0,185	-0,084	0,017	0,033
Enxofre ($mg.dm^{-3}$)	0,018	-0,108	0,085	0,130	-0,038	0,153	-0,185	-0,082	0,075	0,040	0,166	0,054	0,165	0,060	-0,015
Cobre ($mg.dm^{-3}$)	0,104	0,109	0,050	0,098	-0,262	0,051	-0,361	-0,477	0,164	0,075	-0,240	-0,204	0,250	-0,027	-0,215
Manganês ($mg.dm^{-3}$)	0,000	0,090	0,131	0,229	0,002	0,147	-0,122	0,117	-0,143	-0,033	0,240	0,210	0,076	-0,116	-0,028
Zinco ($mg.dm^{-3}$)	0,072	-0,091	0,317	0,001	0,218	-0,068	0,272	0,344	-0,136	-0,044	0,159	0,030	-0,078	-0,092	0,101
Produtividade de soja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* NR: número de ramos; NNH = número de nós na haste; NNR = número de nós nos ramos; NNFH= número de nós férteis na haste; NNFR = número de nós férteis nos ramos; NL1GH = número de legumes com um grão na haste; NL2GH = número de legumes com dois grãos na haste; NL3GH = número de legumes com três grão na haste; NL>3GH = número de legumes com mais de três grão na haste; NL1GR = número de legumes com um grão nos ramos; NL2GR = número de legumes com dois grãos nos ramos; NL3GR = número de legumes com três grão nos ramos; NL>3GR = número de legumes com mais de três grão nos ramos; M100 = massa de 100 grãos (g)

5 CONCLUSÕES

Houve diferenças funcionais e estruturais entre os pontos amostrais com variabilidade na área experimental. O tamanho da malha amostral utilizada não foi eficiente em discriminar a variabilidade para a massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca das folhas.

Houve diferença entre massa de matéria seca da parte aérea e a massa de matéria seca das folhas em relação com o número de NL1GH (número de legumes com um grão na haste) e NL2GH (número de legumes de dois grãos na haste) e área foliar específica.

Existe grande variabilidade química na área, porém, a argila, capacidade de troca de cátions efetiva, saturação por bases, potássio, magnésio e o manganês apresentam valores que seguem a distribuição normal.

O atributo de solo de maior influência nos componentes de produtividade na safra 2010/2011 foi a matéria orgânica e na safra 2011/2012 foi o teor de argila e fósforo no solo.

REFERÊNCIAS

AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L**.** Agricultura de precisão aplicada ao manejo do solo na cultura da soja. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. **Soja**: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010.

_____. Using precision farming to overcome yield limiting factors in southern Brazil Oxisols: a case study**.** In: CLAY, D.E.; SHANAHAN, J.F.; GIS **Applications in agriculture**. Florida, 2011. v. 2: Nutrient management for energy efficiency, p. 31-60.

AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L.; TEIXEIRA, T.G. Avanços e desafios da agricultura de precisão no Sul do Brasil. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 1, p. 40-45, 2009.

AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, ago. 2007.

ANTUNES, M.A.H. Variação das medidas espectrais tomadas com espectroradiômetro ao longo do ciclo de crescimento da soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1993. v. 3, p. 1-9.

BENINCASA, M.M.P. **Análise do crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.

_____. **Análise de crescimento de plantas** (noções básicas). 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G. A criterion for acceptance of narrow-row culture in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 6, p. 1103-1106, 1994.

CÂMARA, G.M.S. **Soja:** tecnologia da produção II. Piracicaba: O Autor, 2000. 450 p.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMERON, K.C.; DI, H.J.; McLAREN, R.G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 35, n. 5, p. 995-1035, 1997.

CARVALHO, J.R.P.; VIEIRA, S.R.; MORAN, R.C.C.P. Análise de correspondência: uma ferramenta útil na interpretação de mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 435-443, 2002.

CHERUBIN, M.R. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com agricultura de precisão.** 2013. 99p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES V.V.H.; SCHAEFFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 1, p. 249-290.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO**. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

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

CORA, J.E.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após a calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

CORA, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

COSTA, L.C.; CONFALONE, A.E.; PERREIRA, C.R. Effect of water stress on the efficiency of capture of water and radiation by soybean. **Tropical Science**, London, v. 39, n. 1, p. 1-7, 1999.

DALLA NORA, D.; AMADO, T.J.C.; ALBA, P.J. ; BORTOLOTTO, R.P.; KELLER, C. Agricultura de precisão: variabilidade dos atributos químico-físicos do solo e relação com a produtividade do milho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, p. 59-68, 2013.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 2, p. 541-552, abr. 2012.

DELLAMEA, R.B.C. **Eficiência da adubação à taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**, 2008. 161p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho**: tecnologia e produtividade. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2001. p. 120-125,

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

EITELWEIN, M.T. **Definição de estabilidade produtiva e relação com atributos de solo em áreas manejadas com agricultura de precisão**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) - Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000**. Londrina: Embrapa Soja; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 226 p. (Documentos, 132; , Documentos, 5).

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 286 p.

ENDRES, V.C. Espaçamento, densidade e época de semeadura. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. **Soja:** recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Dourados, 1996. p. 82-85. (Circular Técnica, 3).

ESCOSTEGUY, P.AV.; KLEIN, V.A.; CERINI, J.B.; MACHADO, M.E. Toxidez de manganês em soja. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 95, p. 28-37, 2006.

FAVARIN, J.L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A.G.; VILA NOVA, N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.

FERNÁNDEZ, C.J.; McINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 1224-1233, 1996.

FRANZEN, D.W. Collecting and analyzing soil spatial information using kriging and inverse distance. In: CLAY, D.E.; SHANAHAN, J.F. **GIS applications in agriculture.** Boca Raton: CRC Press, 2011. v. 2: Nutrients management for energy efficiency, p.61-80.

GASSEN, D.N. **O índice de área foliar em soja**. Disponível em: <http://agrolink.com.br/colunistas/ColunaDetalhe.aspx?CodColuna=390>. Acesso em: 01 jul.2013.

GAZZONI, D.L.; MOSCARDI, F. Effect of defoliation levels on recovery of leaf area, on yield and agronomic traits of soybeans. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 411-424, 1998.

GAZZONI, D.L. **Avaliação do efeito de três níveis de desfolhamento aplicado em quatro estádios de crescimento de dois cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sobre a produção e a qualidade do grão**. 1974. 70 p. Dissertação (Mestrado na área de Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GERIK, T.J.; FAVER, K.L.; THAXTON, P.M. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water uses, and yield. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 914-921, 1996.

GIMENEZ, L.M.; MOLIN, J.P. Algoritmo para redução de erros em mapas de produtividade para agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v. 2, n. 1, p. 5 - 10, 2004.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A.D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7**. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007. 319p.

GOMES, J.B.V.; BOLFE, E.L.; CURI, N.; FONTES, H.R.; BARRETO, A.C.; VIANA, R. D. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2471-2482, 2008.

GORDON, B. Adubação com manganês em soja convencional e soja resistente ao glifosato. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 117, p. 6-7, 2007.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, 1988. 145 p.

HEIFFIG, L.S.; CÂMARA, G.M.S.; MARQUES, L.A.; PEDROSO, D.B.; PIEDADE, S.M.S. Fechamento e índice de área foliar na cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

HUGHES, G. Modelling the effect of spatially heterogeneous pest injury on crop yields. **Crop Research**. Amsterdam, v. 28, p. 137-144, 1988.

KERRY, R.; OLIVER, M.A. Determining nugget: sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to krige sparse soil data. **Precision Agriculture**, Boston, v. 9, p. 33-56, 2008.

KERRY, R.; OLIVER, M.A.; FROGBROOK, Z.L. Sampling in precision agriculture. In: OLIVER, M.A. (Org.). **Geostatistical applications for precision agriculture**. 2010. cap. 2, p. 35-63.

LARK, R.M.; STAFFORD, J.V. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 130, p. 111-121, 1997.

MACHADO, S. BYNUM, E.D.; ARCHER, T.L.; LASCANO, R.J.; BORDOVSKY, J.; BRONSON, K.; NESMITH, D.M.; SEGARRA, E.; ROSENOW, D.T.; PETERSON, G.C.; XU, W. Spatial and temporal variability of sorghum and corn yield: interactions of biotic and abiotic factors. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER RESOURCE MANAGEMENT, 5., 2000. Minnesota. **Proceedings...**. Minnesota.: ASA, CSSA, SSSA, 2001. 1 CD-ROM,

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

_____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALUF, J.R.T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, p. 141-150, 2000.

McBLAIN, B.A.; HUME, D.J. Reproductive abortion, yield components and nitrogen content in three early soybean cultivars. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 61, n. 3, p. 499-505, July, 1981.

McCREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 353-360, 1989.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.

MÜLLER, L. Fisiologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.L. **A soja no Brasil.** Campinas, 1981. p. 109-129.

NANNI, M.R.; POVH, F.P.; DAMATTÊS, J.A.M.; OLIVEIRA, R.B.; CHICATI, M.L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, p. 386-392, 2011.

NAVARO JUNIOR, H.M.; COSTA, J.A, Contribuição relativa dos componentes do rendimento para a produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 264-274, mar. 2002.

NIDERA SEMENTES. **Genética avançada**. Disponível em: <http:// www. niderasementes. com.br/ produto_detalhe.aspx?id=66>. Acesso em: 26 jan. 2012.

OLDONI, L.; PRUDENTE, V. H. R.; MERCANTE, E.; LIMA, P. H. P.; JUSTINA, D. D. D.; WRUBLACK, S. C.; LIMA, L. E. P. Acompanhamento da cultura da soja através do índice de vegetação NDVI para 35 municípios localizados no oeste do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2013. p. 460-467.

OLIVEIRA JÚNIOR, J.O.L.; MEDEIROS, R.D.; MOREIRA, M.A.B. A cultura do Feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Estado de Roraima. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2000. 2 p. (Embrapa Roraima. Embrapa Informa, 1).

PEREIRA, A.B.; VRISMAN, A.L.; GALVANI, E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 211-216, abr./jun. 2002.

PIRES, J.L.F. **Estimativa do potencial produtivo da soja e variabilidade de área de produção.** 2002. 139 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais:** exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PONTELLI, C.B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão.** 2006. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

REICHARDT, K; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REICHERT, J.L.; COSTA, E.C. Avaliação de desfolhamentos contínuos e sequenciais, simulando dano de pragas em soja sobre o cultivar BRS 66. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 183-190, 2001.

ROSENTHAL, W.D.; ARKIN, G.F.; SHOUSE, P.L. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 1019-1026, 1987.

SANTI, A.L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão.** 2007. 175 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; FLORA, L.P.D.; SMANIOTTO, R.F.F. Agricultura de Precisão: é chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.105, p. 24-30, 2009.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User´s Guide 8.0**. Cary, 1999. 3365 p.

SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para a produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, p. 241-249, 2001.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, p. 591-611, 1965.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; VIEIRA, L.H.S.; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Revista Ciência Agrotécnica,** Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2008.

SIQUEIRA, D.S.; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G.T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes**. Geoderma**, Amsterdam, v. 155, p. 55-66, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A. A. **Soja, nutrição, correção do solo e adubação**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 60p. (Série Técnica, 7).

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 45-94, 1985.

VENTIMIGLIA, L.A.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; PIRES, J.L.F. 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, fev. 1999.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**. Campinas: IAC, 1998. 53 p.

_____. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES V.V.H.; SCHAEFFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WEBSTER, R.; LARK, M. **Field sampling for environmental science and management**. London: Routledge, 2012. 200 p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for environmental scientists**. 2nd . ed. Chichester: John Wiley, 2007. 330 p.

WELLS, R. Soybean growth response to plant density: relationships among photosynthesis, leaf area, and light interception. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 3, p.755-756, 1991.

_____. Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. **Agronomy Journal,** Madison, v. 1, n. 81, p. 44-48, 1993.