

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE - RS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:  
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**MANEJO POR AMBIENTE: ATRIBUTOS DE SOLO E  
DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Geomar Mateus Corassa**

**Frederico Westphalen, RS, Brasil**

**2015**

**MANEJO POR AMBIENTE: ATRIBUTOS DE SOLO E  
DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA**

**Geomar Mateus Corassa**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

**Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi**

**Frederico Westphalen, RS, Brasil**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Corassa, Geomar Mateus  
Manejo por ambiente: Atributos de solo e desempenho de cultivares de soja / Geomar Mateus Corassa.-2015.  
123 p.; 30cm

Orientador: Antônio Luis Santi  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS-FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2015

1. Agricultura de precisão 2. Mapas de colheita 3. Zonas de manejo 4. Atributos de solo 5. Glycine max (L.) Merrill I. Santi, Antônio Luis II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Geomar Mateus Corassa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro s/n – BR 386, km 40. CEP 98400-000 - Frederico Westphalen, RS, Brasil.

Fone (55) 9927-2468; Endereço eletrônico: [geomarmateus@hotmail.com](mailto:geomarmateus@hotmail.com)

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Educação Superior Norte - RS  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia:  
Agricultura e Ambiente**

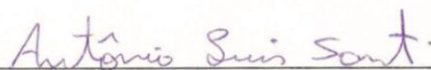
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**MANEJO POR AMBIENTE: ATRIBUTOS DE SOLO E  
DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA**

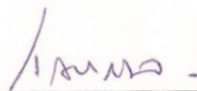
elaborado por  
**Geomar Mateus Corassa**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



**Antônio Luis Santi, Dr.**  
(Presidente/Orientador)



**Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)**



**João Leonardo Fernandes Pires, Dr. (EMBRAPA TRIGO)**

Frederico Westphalen, 16 de fevereiro de 2015.

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais, Gelson e Marli Corassa que sempre me apoiaram e me incentivaram em todos os momentos.*

**DEDICO...**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e por proporcionar momentos indescritíveis ao lado das pessoas que amamos.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela acolhida em suas estruturas e pela oportunidade do ensino público, gratuito e de qualidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA) por tornar possível o acesso na pós-graduação e por todo o apoio durante mais essa jornada.

Ao professor Dr. Antônio Luis Santi, por tantos e tantos ensinamentos, pela amizade, companheirismo, simplicidade e por todos os conselhos durante o mestrado. Obrigado por nunca teres medido esforços em prol da minha formação. Faltam palavras para expressar o quanto sou grato.

Ao professor Vanderlei Rodrigues da Silva por toda a amizade e prestatividade.

Aos meus pais Gelson José Corassa e Marli Irene Corassa, por todo o apoio, afeto, amizade e cumplicidade. Obrigado por me ensinarem a amar a agricultura e a respeitar a terra, fonte de todas as riquezas. Obrigado pelo incentivo incondicional e por nunca medirem esforços, na esperança de que um dia pudessem ver o “teu guri” se tornar mestre. Aos meus tios Milton Corassa, Rosani Corassa, primo Leonardo e a nona Adelaide, por todo incentivo e por sempre acreditarem no meu potencial.

A minha namorada Aila Wayhs Ferrari, pela amizade, afeto, carinho, prestatividade e compreensão.

Aos colegas e colaboradores do Laboratório de Agricultura de Precisão do sul do Brasil (LAP Sul): Danimar M. De Castro, Dejales Fioresi, Diandra Della Flora, Diego Amaro, Diego R. Menegol, Fagner Rontani, Felipe Arthur Baron, Fernanda M. de Souza, Henrique Rubin, Juliano Berghetti, Junior M. Damian, Lisandra Della Flora, Luana Bottezini, Marcelo S. Brondani, Mateus Bisognin, Mauricio Siqueira, Osmar H. C. Pias, Renan Martini, Romano Dal Bello, Ronei Gaviraghi, Tailine Halberstadt, Willian Araldi e demais porventura não citados. Obrigado, pela amizade, pela confiança, pelo empenho, dedicação e pela oportunidade de conviver com cada um de vocês. Ficarão pra sempre marcados os tantos “mates”, encontros, conselhos, anseios, aflições e sorrisos que compartilhamos. Obrigado por manterem a perseverança, mesmo quando a jornada era árdua e por tornarem o laboratório uma verdadeira família. Saibam que aprendi muito com cada um de vocês e espero ter ensinado também.

Aos colegas e amigos Guilherme Trevisol (in memorian), Gilvan Moisés Bertollo, Rudinei De Marco, Luciano C. Cancian, Ana P. Rockmbach, Cassiano C. Kuss, Altamir Mateus Bertollo e Mateus Tonini Eitelwein por toda a amizade e experiência compartilhada.

A toda a equipe de fazenda Vila Morena, em especial Sr. Eliseu José Schaedler e Carlos Eduardo Dauve, pela cedência de informações, áreas para a pesquisa, apoio, prestatividade e amizade. Obrigado pelo incentivo incondicional para as pesquisas ao longo de todos esses anos.

Aos “amigos do 303”, Breno R. Maron, Carlos A. B. Pires e Diego A. Breitenbach pela acolhida, amizade e companheirismo. Sou grato por tantos momentos bons que passamos os quais serão eternamente lembrados.

A todos aqueles não citados, colegas, amigos, professores que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

A todos vocês, **Muito Obrigado!**

*“Pouco conhecimento torna as pessoas orgulhosas. Muito conhecimento faz com que se sintam humildes. Assim, como as espigas de trigo sem grãos erguem a cabeça soberba para o céu, enquanto que as cheias as inclinam humildemente para a terra, sua mãe.”*

(Leonardo da Vinci)



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente  
Universidade Federal de Santa Maria

### MANEJO POR AMBIENTE: ATRIBUTOS DE SOLO E DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA

AUTOR: GEOMAR MATEUS CORASSA

ORIENTADOR: ANTÔNIO LUIS SANTI

Frederico Westphalen, RS 16 de fevereiro de 2015.

O mapeamento da produtividade das culturas é uma importante ferramenta da agricultura de precisão permitindo o manejo espacial e temporal mais eficiente das áreas agrícolas. Neste sentido, o trabalho teve por objetivo identificar e analisar zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos (Artigo I), verificar a associação de atributos químicos e físicos do solo com as zonas de rendimento (Artigo II) e, avaliar o desempenho agrônômico de seis cultivares de soja em zonas de alto (ZA), médio (ZM) e baixo (ZB) potencial de rendimento de grãos. Para a definição das zonas de rendimento foram utilizados três mapas de colheita de diferentes culturas em duas áreas experimentais. Os mapas foram filtrados e as zonas definidas e agrupadas a partir da sobreposição das safras (Artigo I). A busca por atributos químicos e físicos do solo associados ao rendimento de grãos foi procedida por meio da coleta sistemática do solo, de acordo com as zonas de rendimento (alto, médio e baixo) (Artigo II), sendo analisadas 80 variáveis químicas e 33 variáveis físicas por meio da estatística descritiva e ranqueadas por meio da análise de componentes principais (ACP). O desempenho agrônômico de cultivares de soja nas diferentes zonas de rendimento (Artigo III) foi avaliado em duas áreas agrícolas, sendo os experimentos alocados em delineamento de bloco aos acasos em esquema fatorial 3x6, com três zonas de rendimento (alto, médio e baixo) e seis cultivares de soja (BMX Ativa RR, Fundacep 65 RR, FPS Urano RR, FPS Júpiter RR, NA 5909 RG e BMX Força RR), com três repetições. Os resultados comprovaram que o uso de uma série histórica de mapas de colheita é uma ferramenta eficiente para caracterizar locais com diferentes potenciais de rendimento, além de servir como base para a melhoria da gestão espacial das áreas agrícolas. A amostragem sistemática do solo foi capaz de revelar variáveis explicativas para o rendimento de grãos, sendo a ordem para intervenção em atributos químicos na área: calagem, fertilização fosfatada e fertilização potássica. A presença de atributos de difícil manejo em curto prazo (matéria orgânica e argila) associados ao rendimento de grãos sugere o manejo das culturas por zona de manejo. As zonas influenciaram o rendimento de grãos das cultivares de soja, sendo que a cultivar BMX Força RR apresentou seu maior rendimento na ZB, enquanto que NA 5909 RG, foi mais produtiva em ZA e ZM. A cultivar BMX Ativa RR foi em média a mais produtiva e mais estável. Os resultados indicam que o posicionamento de cultivares de soja de acordo com zonas de manejo é uma importante estratégia para a agricultura de precisão e se caracteriza como um novo conceito de semeadura “multi-cultivares”

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Mapas de colheita. Zonas de manejo. Atributos de solo. *Glycine max* (L.) Merrill.

## ABSTRACT

Master Dissertation  
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment  
Federal University of Santa Maria

### ENVIRONMENTAL MANAGEMENT: SOIL ATTRIBUTES AND PERFORMANCE OF SOYBEAN CULTIVARS

AUTHOR: GEOMAR MATEUS CORASSA  
ADVISOR: ANTÔNIO LUIS SANTI  
Frederico Westphalen, RS, February 16<sup>th</sup>, 2015.

The crop productivity mapping is an important precision farming tool enabling more efficient spatial management of agricultural areas. In this sense, the objective of this work was to identify and analyze zones with different grain yield potential (Article I), check the association of chemical and physical properties of the soil with the yield zones (Article II), and evaluate the agronomic performance of six soybean cultivars in zones with different grain yield potential. For the definition of the yield zones were used three harvest maps of different cultures in two experimental areas. The maps were filtered and the defined zones and grouped from the overlap of crops (Article I). The search for chemical and physical attributes of the soil associated with grain yield was performed by systematic soil collection, according to grain yield zones (high, medium and low) (Article II), and analyzed 80 chemical variables and 33 physical variables by using descriptive statistics and ranked by principal component analysis (PCA). The agronomic performance of soybean cultivars in different grain yield zones (Article III) was evaluate in two agricultural areas, being allocated experiments in the random block design in factorial 3x6, with three grain yield zones (high, medium and low) and six soybean cultivars (BMX Ativa RR, Fundacep 65 RR, FPS Urano RR, FPS Júpiter RR, Nidera 5909 RG and BMX Força RR), with three replications. The results showed that the use of a historical series of harvest maps is an efficient tool to characterize sites with different grain yield potential, in addition to serving as a base for improving the spatial management of agricultural areas. The systematic soil sampling was able to reveal explanatory variables for grain yield, and the order for intervention in chemical attributes in the área is: Liming, phosphate fertilization and potassium fertilization. The presence of attributes of difficult management in the short time (organic matter and clay) associated with grain yield potential suggests the crop management in the management zones. The yield zones influenced the grain yield of soybean cultivars, and the cultivar BMX Força RR presented its highest grain yield in the ZB, whereas NA 5909 RG was more productive in the ZA and ZM. The cultivar BMX Ativa RR was on average more productive and more stable. The results indicate that the positioning of soybean cultivars in accordance with management zones is a important strategy for the precision agriculture and characterized as a new concept of the “multi-cultivars” sowing.

**Keywords:** Precision agriculture. Yield maps. Management zones. Soil attributes. *Glycine max* (L.) Merrill.

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

<b>Tabela 1</b> – Histórico dos cultivos implantados nas duas áreas experimentais entre os anos de 2008 a 2013. ....	23
<b>Tabela 2</b> – Mapas de colheita utilizados no estudo nas respectivas áreas experimentais. ....	24
<b>Tabela 3</b> – Classificação das zonas de rendimento de grãos de acordo com o percentual em relação à média das safras. ....	25
<b>Tabela 4</b> – Estatística descritiva dos mapas de colheita após a filtragem dos dados para as duas áreas de estudo. ....	26
<b>Tabela 5</b> – Parâmetros geoestatísticos dos mapas de colheita após a filtragem dos dados para as duas áreas de estudo. ....	28
<b>Tabela 6</b> – Matriz de correlação linear de Pearson entre os mapas de colheita obtidos nas duas áreas de estudo. ....	29

### ARTIGO II

<b>Tabela 1</b> – Histórico dos cultivos, práticas de adubação e correção realizadas na área experimental. ....	50
<b>Tabela 2</b> – Mapas de colheita utilizados para a área experimental. ....	51
<b>Tabela 3</b> – Rendimento de grãos (líquido, relativo e acumulado) obtidos a partir do georreferenciamento de pontos nas diferentes zonas potenciais para as três safras estudadas. ....	55
<b>Tabela 4</b> – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO, %), fósforo (P, mg dm <sup>-3</sup> ) e potássio (K, mg dm <sup>-3</sup> ) obtidos na área de estudo. ....	57
<b>Tabela 5</b> – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo: pH <sub>água</sub> , magnésio (Mg, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), cálcio (Ca, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), soma de bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), capacidade de troca de cátions (CTC, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), saturação por bases (V, %) e da relação cálcio/magnésio (Ca/Mg) obtidos na área de estudo. ....	59
<b>Tabela 6</b> – Estatística descritiva dos atributos físicos do solo: argila (%), porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ), macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ), microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ), densidade do solo (kg m <sup>-3</sup> ) e água disponível (g g <sup>-1</sup> ) obtidos na área de estudo. ....	61
<b>Tabela 7</b> – Análise de componentes principais dos atributos químicos do solo amostradas na área de estudo. ....	64
<b>Tabela 8</b> – Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo amostradas na área de estudo. ....	88

### ARTIGO III

<b>Tabela 1</b> – Características agronômicas das cultivares de soja utilizadas nos experimentos. ....	88
<b>Tabela 2</b> – Densidade de plantas indicada por hectare e densidade utilizada nos experimentos para as diferentes cultivares de soja.....	89
<b>Tabela 3</b> – Porcentagem média de vigor e de germinação de sementes das diferentes cultivares de soja, utilizadas nos experimentos.....	89
<b>Tabela 4</b> – Atributos físico-químicos do solo na profundidade de 0,00 - 0,10 m nas duas áreas experimentais e para as zonas de alto (ZA), médio (ZM) e baixo potencial (ZB).. ....	90
<b>Tabela 5</b> – Nível de significância de <i>p</i> para a análise de variância dos fatores zona de rendimento de grãos (Z), cultivares de soja (C) e a interação Z x C para os diferentes parâmetros avaliados e os respectivos coeficientes de variação (CV) para as duas áreas experimentais.. ....	93
<b>Tabela 6</b> – Índice de área foliar (IAF) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).....	94
<b>Tabela 7</b> – Peso de matéria seca (MS, kg ha <sup>-1</sup> ) no estágio R2 de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo). ....	97
<b>Tabela 8</b> – Estatura de plantas (cm) e altura de inserção do primeiro legume (INSLEG, cm) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).....	99
<b>Tabela 9</b> – Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo). ....	101
<b>Tabela 10</b> – Número de legumes por m <sup>2</sup> (NLEGM <sup>2</sup> ) e número de legumes por planta (NLEGP) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).....	104
<b>Tabela 11</b> – Número de legumes por planta na haste (NLEGH) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo). ....	105
<b>Tabela 12</b> – Número de legumes por planta nos ramos (NLEGR) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo). ....	106
<b>Tabela 13</b> – Peso de mil grãos (PMG) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).....	107
<b>Tabela 14</b> – Número de grãos por legume (NGL) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).....	107
<b>Tabela 15</b> – Índice de colheita (IC) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).....	108

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

- Figura 1** – Localização geográfica das áreas experimentais utilizadas no estudo. ....22
- Figura 2** – Esquema da disposição espacial da malha de 50 x 50 m utilizada para a sobreposição dos mapas de colheita nas respectivas áreas de estudo. ....24
- Figura 3** – Precipitação pluvial diária (mm) ocorrida nas áreas experimentais para os respectivos anos de 2008 (A), 2009 (B), 2010 (C), 2011 (D), 2012 (E) e 2013 (F). ....30
- Figura 4** – Mapas de rendimento de grãos relativo de Aveia/09 (A); Milho/09 (B) e Milho/13 (C) referentes à área experimental 1 e classificados em ZB (<90%), ZMB (90-95%), ZM (95-105%), ZMA (105-110%) e ZA (>110%), seguido do respectivo percentual ocupado pelas zonas em cada mapa de colheita. ....32
- Figura 5** – Mapa de rendimento de grãos relativo obtido para a área 1 a partir da sobreposição de três mapas de colheita (Aveia/09, Milho/09 e Milho/13) e classificado em ZB (<90%), ZMB (90-95%), ZM (95-105%), ZMA (105-110%) e ZA (>110%), seguido do respectivo percentual ocupado pelas zonas. ....35
- Figura 6** – Mapas de rendimento de grãos relativo de Milho/10 (A); Soja/13 (B) e Trigo/12 (C) referentes à área experimental 2 e classificados em ZB (<90%), ZMB (90-95%), ZM (95-105%), ZMA (105-110%) e ZA (>110%), seguido do respectivo percentual ocupado pelas zonas em cada mapa de colheita. ....37
- Figura 7** – Mapa de rendimento de grãos relativo obtido para a área 2 a partir da sobreposição de três mapas de colheita (Milho/10, Soja/13 e Trigo/12) e classificado em ZB (<90%), ZMB (90-95%), ZM (95-105%), ZMA (105-110%) e ZA (>110%), seguido do respectivo percentual ocupado pelas zonas. ....39

### ARTIGO II

- Figura 1** – Detalhe da malha quadricular utilizada para a padronização dos dados de rendimento de grãos (A) e os respectivos mapas relativizados dos eventos de colheita de Milho/09 (B), Aveia branca/09 (C) e Milho/13 (D). ....51
- Figura 2** – Distribuição espacial das zonas de potencial produtivo na área experimental a partir da sobreposição dos mapas de colheita de três diferentes safras (A) e detalhe da forma de coleta dos atributos químicos e físicos do solo (B).. ....52

<b>Figura 3</b> – Representação gráfica do número de componentes principais necessários para explicar a variância do rendimento de grãos, utilizando atributos químicos (A) e físicos (B), em função do peso atribuído por cada componente aos autovalores.....	62
<b>Figura 4</b> – Distribuição vertical dos teores da matéria orgânica do solo obtidos na área de estudo e agrupados para as zonas de alto (ZA) médio (ZM) e baixo potencial de rendimento de grãos (ZB). .....	66
<b>Figura 5</b> – Distribuição vertical dos teores de argila (%) obtidos na área de estudo e agrupados para as zonas de alto (ZA) médio (ZM) e baixo potencial de rendimento (ZB). .....	69
<b>Figura 6</b> – Mapas de distribuição espacial do rendimento de grãos relativo de três safras (A) e dos teores de argila (%), avaliados na profundidade de 0,00 – 0,15 m e utilizando uma malha amostral de 100 x 100 m (B), na área de estudo.....	70
<b>Figura 7</b> – Relação entre o rendimento de grãos médio relativo de três safras e os teores de argila (%) nas camadas de 0,00 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m e 0,10 – 0,15 m na área de estudo. ....	71
<b>Figura 8</b> – Fluxograma alternativo para o critério de decisão quanto à utilização de práticas de cultivo diferenciadas para cada zona de rendimento de grãos (zonas de manejo) utilizando ferramentas de agricultura de precisão (AP).....	73

### ARTIGO III

<b>Figura 1</b> – Localização geográfica das áreas experimentais utilizadas no estudo.....	86
<b>Figura 2</b> – Distribuição espacial das zonas de rendimento de grãos na área experimental 1 (A) e na área experimental 2 (B) a partir da sobreposição de três mapas de colheita. ....	87
<b>Figura 3</b> – Precipitação pluvial diária e precipitação pluvial acumulada nas áreas experimentais durante o período de condução do experimento. ....	91
<b>Figura 4</b> – Modelo teórico de um plano de manejo inteligente (PMI) para as áreas experimentais 1 (A) e 2 (B) utilizando um sistema “multi-cultivares” de soja em função de sua resposta as zonas de rendimento de grãos .....	110

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Hipóteses .....	17
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
<b>2 ARTIGO I - DEFINIÇÃO E ANÁLISE DE ZONAS COM DIFERENTES POTENCIAIS DE RENDIMENTO DE GRÃOS VISANDO O MANEJO POR AMBIENTE: ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>19</b>
2.1 Resumo .....	19
2.2 Abstract.....	20
2.3 Introdução.....	20
2.4 Material e Métodos .....	22
2.5 Resultados e Discussão.....	26
2.6 Conclusões.....	40
2.7 Agradecimentos .....	40
2.8 Referências Bibliográficas.....	40
<b>3 ARTIGO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO ASSOCIADOS AO POTENCIAL PRODUTIVO DAS CULTURAS EM UMA ÁREA COM AGRICULTURA DE PRECISÃO.....</b>	<b>46</b>
3.1 Resumo .....	46
3.2 Abstract.....	47
3.3 Introdução.....	47
3.4 Material e Métodos .....	49
3.5 Resultados e discussão.....	54
3.6 Conclusões.....	73
3.7 Agradecimentos .....	74
3.8 Referências Bibliográficas.....	74
<b>4 ARTIGO III - DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE SOJA EM ZONAS COM DIFERENTES POTENCIAIS DE RENDIMENTO DE GRÃOS.....</b>	<b>82</b>
4.1 Resumo .....	82
4.2 Abstract.....	83
4.3 Introdução.....	83
4.4 Material e Métodos .....	85
4.5 Resultados e discussão.....	92
4.6 Conclusões.....	111
4.7 Agradecimentos .....	111
4.8 Referências Bibliográficas.....	111
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>119</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) tem sido amplamente reconhecida como uma técnica importantíssima para o manejo da variabilidade espacial das áreas de produção agrícola. Desde o seu surgimento teve como princípio a adoção de técnicas que permitissem o conhecimento detalhado de atributos, tanto do solo, quanto das plantas, e que por fim, associados às intervenções localizadas resultassem em aumento da produtividade e em redução dos custos de produção, principalmente aqueles relacionados ao uso de fertilizantes. Para tal, as ferramentas de AP foram integradas a aparatos tecnológicos, os quais foram adaptados de outras áreas do conhecimento (com grande destaque para a informática) para a realidade agrícola, a fim de contribuir para a coleta e processamento de um grande número de informações em curto espaço de tempo. O grande volume de informação coletados a partir da adoção das técnicas de AP em propriedades rurais, associados ao conhecimento agrônomo, tem proporcionado mudanças no cenário agrícola brasileiro e deste modo, contribuído para o aumento da produção agrícola. Diz respeito

Dentre as ferramentas proporcionadas inicialmente pela AP, o mapeamento da colheita pode ser considerado um dos mais relevantes, uma vez que permite evidenciar a resposta dos cultivos no espaço e no tempo (BALASTREIRE et al., 1997; BLACKMORE, 2000; MOLIN, 2000; AMADO et al., 2007). Os mapas de colheita foram considerados como o alicerce inicial e a avaliação final de um ciclo, que associava a caracterização dos fatores de produção, a busca por soluções, intervenções e por fim, a avaliação técnica e econômica das práticas adotadas (MOLIN, 2000; MOLIN, 2002; SANTI, 2007; AMADO et al., 2009).

O uso dos mapas de colheita como base dos processos investigativos dentro das áreas de produção teve grande fomento por parte dos órgãos e instituições de pesquisa, onde se pode comprovar a sua importância para com o sucesso das intervenções (AMADO et al., 2009; SANTI et al., 2012a). Contudo, devido a uma conduta adotada por grande parte dos prestadores de serviço em AP, seguida pelo elevado custo de aquisição e pela dificuldade no manuseio dos monitores de colheita, essa tecnologia tem perdido espaço no sul do Brasil para outras ferramentas tecnológicas e o manejo envolvendo ferramentas de AP tem se restringido, em escala comercial, somente a caracterização espacial de atributos químicos do solo. Esta caracterização baseia-se em amostragem de solo em malhas regulares (CHERUBIN et al., 2014), enquanto as intervenções são procedidas em taxa variável nas áreas de produção



(SANTI, 2007; AMADO e SANTI, 2011; GIRARDELLO et al., 2011). Deste modo, em alguns casos resultados pouco concretos quanto a real eficiência das intervenções foram constatados por parte dos produtores. Esse fato permite inúmeros questionamentos em relação à contribuição da AP para o sul do Brasil, uma vez que as ferramentas tornam-se subutilizadas, agregando pouco valor econômico ao processo produtivo. Esta conjuntura conduz à frustração e ao descrédito quanto ao uso de ferramentas de AP (SANTI et al., 2012a; SANTI et al., 2014).

Passadas quase duas décadas de AP no sul do Brasil, e com grande parte das áreas agrícolas apresentando um considerável percentual ocupado por zonas com baixo rendimento de grãos, o uso dos mapas de colheita começa novamente a ganhar relevância e a ser definitivamente compreendido, com uma ferramenta indispensável na busca por um elevado rendimento de grãos. A evolução dos monitores de colheita, a melhor precisão nos resultados e a tecnologia embarcada como parte constituinte da maioria das colhedoras recentemente lançadas, têm contribuído para a difusão desta importante ferramenta de AP, capaz de contribuir para a melhor elucidação do potencial possível de ser atingido pelas culturas.

A variabilidade espacial do rendimento de grãos pode estar atrelada a vários fatores, sejam eles controláveis ou não, e por isso o máximo de informações necessitam ser obtidas para que se chegue ao objetivo final. Para isso, os mapas temáticos de colheita são parte indispensável. Atualmente, a partir de series históricas, inúmeros trabalhos têm conseguido definir locais com baixo, médio e alto potencial produtivo (MOLIN, 2002; SANTI, 2007; AMADO et al., 2009; SUSZEK et al., 2011; SANTI et al., 2013; EITELWEIN, 2013) onde a identificação dos fatores limitantes ao rendimento de grãos tem sido buscada (SANTOS et al., 2001; AMADO et al., 2009; SANTI et al., 2012a; SANTI et al., 2012b). No entanto, a forma de se obter resultados satisfatórios a partir dos mapas de colheita bem como a definição das zonas de manejo, requer não só um adequado processamento dos dados, mas também uma análise criteriosa, mapa a mapa, para que posteriormente sejam traçadas as estratégias de manejo.

Estas estratégias têm sido empregadas em duas vertentes de estudo, sendo: a) buscar a identificação e a correção dos fatores que limitam o rendimento de grãos, a partir de uma análise detalhada e b) utilizar técnicas diferenciadas em função do potencial produtivo, quando os fatores limitantes se apresentarem como de difícil manejo. Esta última tem sido caracterizada como uma forma de “agricultura por ambiente” (HORBE et al., 2013) e têm se mostrado uma técnica altamente promissora em áreas agrícolas que já evoluíram no uso das ferramentas de AP e que buscam ajustes mais complexos, afim de acrescer o rendimento de

grãos. Contudo, estes estudos ainda estão limitados a poucas culturas, como é o caso do milho, carecendo de pesquisas para outras culturas, com destaque para a soja.

Com base nestas constatações e buscando aprimorar os estudos a partir de mapas de colheita, o trabalho teve como objetivo identificar e analisar zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos, verificar a associação de atributos químicos e físicos do solo com as zonas de rendimento e, avaliar o desempenho agrônômico de seis cultivares de soja em zonas de alto, médio e baixo potencial de rendimento de grãos.

## **1.1 Hipóteses**

A utilização de mapas de colheita é uma ferramenta importante para identificar zonas com diferentes potenciais produtivos e para orientar o manejo em zonas.

As zonas de baixo e médio rendimento de grãos apresentam problemas envolvendo a qualidade do sistema, não sendo explicado por variáveis isoladas.

As zonas de rendimento de grãos exercem influência sobre as cultivares de soja e estas apresentam respostas distintas entre si em função das zonas em que foram cultivadas.

As cultivares de tipo de crescimento indeterminado apresentam maior estabilidade produtiva do que cultivares com tipo de crescimento determinado em zonas de médio e baixo de rendimento de grãos.

A identificação de cultivares específicas para cada zona de rendimento de grãos proporciona maior eficiência produtiva nas áreas agrícolas e caracteriza uma técnica de manejo envolvendo a semeadura multi-cultivares.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Identificar e analisar zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos, verificar a associação de atributos químicos e físicos do solo com as zonas de rendimento e, avaliar o

desempenho agrônomo de seis cultivares de soja em zonas de alto, médio e baixo potencial de rendimento de grãos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Identificar e analisar zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos em duas áreas agrícolas manejadas com ferramentas de agricultura de precisão, com base em mapas de colheita.

Caracterizar as zonas de alto, médio e baixo potencial de rendimento de grãos quanto aos seus atributos químicos e físicos do solo.

Identificar atributos químicos e físicos do solo limitantes ao potencial produtivo das culturas, a fim de orientar intervenções de manejo.

Avaliar o desempenho agrônomo cultivares de soja, com diferentes tipos de crescimento (determinado e indeterminado) em zonas de alto, médio e baixo potencial de rendimento de grãos.

Identificar cultivares de soja específicas para utilização em zonas de alto, médio e baixo potencial produtivo.

## 2 ARTIGO I

# IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE ZONAS COM DIFERENTES POTENCIAIS DE RENDIMENTO DE GRÃOS VISANDO O MANEJO POR AMBIENTE: ESTUDO DE CASO

### 2.1 Resumo

O mapeamento da variabilidade espacial do rendimento de grãos tem sido considerado como uma das mais importantes ferramentas da agricultura de precisão (AP), pois permite a identificação eficiente de locais com maior ou menor potencial produtivo. Neste sentido, o trabalho teve como objetivo realizar a identificação e a análise de zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos utilizando mapas de colheita em duas áreas agrícolas manejadas com ferramentas de agricultura de precisão. O estudo foi conduzido em áreas agrícolas comerciais no município de Boa Vista das Missões – RS, com 117,7 ha (área 1) e 107,20 ha (área 2). Foram utilizados três mapas de colheita de diferentes culturas em cada área, obtidos entre os anos de 2008 a 2013 por meio de uma colhedora contendo sistema de monitoramento georreferenciado do rendimento de grãos. Todos os mapas foram filtrados e sobrepostos em uma malha amostral quadriculada de 50 x 50 m, sendo posteriormente relativizados. Os dados de rendimento de grãos foram submetidos à análise estatística descritiva, análise geoestatística e comparados entre si a partir da análise de correlação. As zonas com diferentes potenciais foram geradas e agrupadas a partir da sobreposição das safras e analisadas em função da consistência e distribuição espacial e temporal. Os resultados evidenciaram que as áreas agrícolas estudadas diferem quanto à distribuição espacial do rendimento e que a utilização de um único mapa de colheita ou de uma única cultura para a definição de zonas de rendimento deve ser evitada. As zonas de alto rendimento foram mais instáveis em relação às zonas de baixo rendimento. Os resultados obtidos poderão contribuir para a melhor gestão espacial das áreas agrícolas.

**Palavras-chave:** Mapa de colheita. Variabilidade espacial. *Glycine max* (L.) Merrill. *Zea mays* L.

## 2.2 Abstract

The mapping of variability of grain yield crop has been considered with one of the most important tools of precision agriculture (PA), it allows the efficient identification of sites with more or less productive potential. In this sense, the objective of this work was to define and analyze zones with different grain yield potential using yield maps in two agricultural areas managed with precision agriculture. The study was conducted in commercial farming areas in Boa Vista das Missões - RS, with 117.70 (area 1) and 107.20 ha (area 2). Were used three yield maps of different cultures in each area, obtained between the years 2008-2013, through a harvester containing georeferenced monitoring system of yield. All maps were filtered and superimposed on a sample grid of 50 x 50 m, later being relativized. The productivity data were submitted to descriptive statistical analysis, geostatistical analysis and compared from the correlation analysis. The zones with different potentials were generated and grouped from the overlap of crops and analyzed according to their consistency and temporal and spatial distribution. The results showed that the agricultural areas studied differ in the spatial distribution of grain yield and the use of a single yield map or a single culture in defining yield zones should be avoided. The high yield zones were more unstable in relation to low yield zones. The results may contribute to the better spatial management of agricultural areas.

**Keywords:** Yield map. Spatial variability. *Glycine max* (L.) Merrill. *Zea mays* L.

## 2.3 Introdução

A agricultura de precisão (AP) tem sido reconhecida como uma importante técnica para o manejo eficiente das áreas de produção agrícola. Dentre as principais tecnologias proporcionadas pela AP, o mapeamento da variabilidade das culturas, tem sido um dos mais discutidos atualmente, dada a sua importância como ferramenta comprobatória da eficiência das intervenções aplicadas a área de produção (BALASTREIRE et al., 1997; MOLIN, 2000; MOLIN, 2002; SANTI et al., 2014).

Com os avanços do uso da tecnologia e a partir do monitoramento temporal do rendimento de grãos (mapas de várias safras), tornou-se possível a identificação e a distinção de locais que apresentam diferentes potenciais produtivos, independente do ano agrícola. Neste sentido, inúmeros trabalhos avançaram no conceito de zonas de rendimento de grãos,

zonas de produtividade, zonas de manejo ou unidades de manejo (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; SANTI, 2007; SUSZEK et al., 2011; SANTI et al., 2013) baseando-se no agrupamento de locais com baixo, médio e alto potencial de rendimento de grãos (GIRARDELLO et al., 2011; HÖRBE et al., 2013; SANTI et al., 2014).

Novas metodologias têm surgido para definição de zonas de manejo, como é o caso do uso de imagens de satélites, índices de vegetação e vigor, condutividade elétrica, dentre outros. No entanto, segundo Molin (2002) e Santi et al. (2013), os atributos que definem de forma mais coerente tais zonas tem sido a sobreposição de mapas temporais de rendimento de grãos. Esta metodologia tem se mostrado muito eficiente, especialmente para o sul do Brasil (HORBE, et al, 2013; SANTI et al., 2013). Segundo Santi et al. (2014) a planta é considerada um dos melhores indicadores, e reflete claramente a qualidade do manejo que vem sendo empregado ao sistema de produção. Neste sentido Molin (2002) sugere a normalização dos valores absolutos de rendimento de grãos, para que posteriormente se estabeleçam os agrupamentos.

Atualmente, o agrupamento mais difundido para a definição de zonas de manejo a partir de mapas de colheita foi descrito por Molin (2002) e Blackmore et al. (2003). Os autores sugerem a distinção de zonas seguindo a seguinte classificação: <95% em relação à média produzida: zona de baixa produtividade; de 95 a 105%: zona de média produtividade e >105%: zona de alta produtividade. Shiratsuchi et al. (2005), no entanto, estabeleceu zonas de produtividade associando dados de produtividade e de coeficiente de variação (CV %), sendo: alta produtividade: > 110% e CV<30%, média produtividade: 90-110% e CV<30% e baixa produtividade: < 90% e CV<30%. Milani et al. (2006) e Eitelwein (2013) por sua vez, dividiram os mapas de colheita em três classes iguais, sendo: produtividade baixa: valores menores que o 33º percentil; produtividade média: valores maiores ou iguais ao 33º percentil e menores que o 67º percentil e; produtividade alta: valores maiores que o 67º percentil. Independente da metodologia utilizada para a distinção entre zonas, trabalhos tem sugerido que para que esta apresente confiabilidade, sejam utilizadas as médias relativas de no mínimo três mapas temporais de colheita (SANTI, 2007; SANTI et al., 2013), bem como a integração de mais de uma cultura.

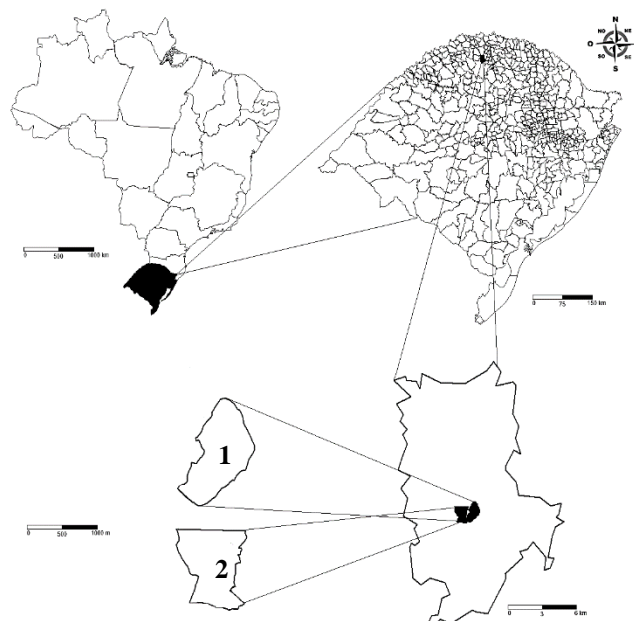
Deste modo, a definição das zonas é o passo chave para que se possa caracterizar, em um segundo momento, os fatores que potencialmente influenciam o rendimento de grãos das culturas, bem como para que sejam propostas intervenções de manejo. No entanto, poucos estudos têm realizado uma análise individual dos mapas de colheita e das respectivas culturas utilizadas para tal definição (SANTI, 2007, AMADO et al., 2009). A análise individual dos

mapas pode contribuir para o melhor entendimento da variabilidade espacial do rendimento de grãos, bem como para uma definição mais coerente de locais que necessitam ser manejados de forma diferenciada, uma vez que as culturas podem apresentar respostas distintas ao ambiente e serem influenciadas pelas condições climáticas impostas pelo respectivo ano agrícola.

Neste sentido, o estudo teve como objetivo realizar a análise de mapas de colheita de diferentes safras e identificar zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos em duas áreas agrícolas manejadas com agricultura de precisão, utilizando uma metodologia alternativa e visando o manejo por ambiente.

## 2.4 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em duas áreas de produção agrícola no município de Boa Vista das Missões - RS, localizadas entre as coordenadas geográficas de 27°42'39" e 27°43'37" de latitude sul e 53°19'46" e 53°21'07" de longitude oeste. As áreas 1 e 2 possuem respectivamente 117,7 e 107,2 hectares (Figura 1).



**Figura 1** – Localização geográfica das áreas experimentais utilizadas no estudo.

O relevo da região é suave ondulado e o solo característico do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006). O clima do local é do tipo subtropical de primavera úmida (STPU) com temperatura média anual de 18,1°C e precipitação pluvial anual média de 1.919 mm (MALUF, 2000). As áreas experimentais vêm sendo conduzidas em sistema plantio direto (SPD) sem interrupção há 20 anos, e seguindo um plano de rotação de culturas pré-estabelecido para o período de inverno e verão. O histórico dos cultivos nas áreas experimentais é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Histórico dos cultivos implantados nas duas áreas experimentais entre os anos de 2008 a 2013.

Ano Agrícola	Área 1		Área 2	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
2008/09	Aveia Preta	Milho	Aveia Preta	Soja
2009/10	Aveia Branca	Soja	Aveia Preta	Milho
2010/11	Aveia Branca	Soja	Aveia Preta	Soja
2011/12	Aveia Preta	Soja	Aveia Preta	Soja
2012/13	Aveia Branca	Milho	Nabo/Trigo	Soja

Fonte: Dados cedidos pelo proprietário da área

As áreas foram escolhidas para o estudo por possuírem um banco histórico de mapas de colheita de no mínimo três safras, obtidos entre os anos de 2008 a 2013. Os dados de rendimento de grãos foram obtidos por meio de uma colhedora marca CASE<sup>®</sup> modelo Axial-Flow 2399, contendo o sistema de agricultura de precisão AFS<sup>®</sup> (Advanced Farming System) responsável pelo monitoramento da colheita. O sistema era composto de um sensor instantâneo de grãos do tipo placa de impacto, instalado ao final do elevador de grãos limpos (EITELWEIN, 2013). Instantaneamente, o monitor de colheita instalado na cabine, associava as informações de velocidade de deslocamento e a largura da plataforma e armazenava as informações de rendimento de grãos de modo georreferenciado por meio de um sinal de GPS, também instalado na colhedora.

Apesar da existência de mapas de colheita de outros anos agrícolas para ambas as áreas de estudo, apenas os mapas que continham o registro completo de dados foram utilizados, a fim de evitar que os resultados finais ficassem comprometidos. Para o estudo foram selecionados três mapas de colheita de cada área, conforme a Tabela 2.



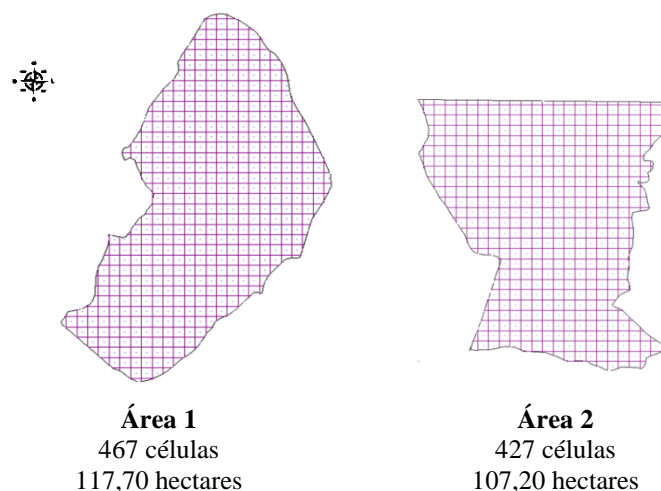
**Tabela 2** – Mapas de colheita utilizados no estudo nas respectivas áreas experimentais.

Área 1			Área 2		
Cultura	Ano safra	Evento*	Cultura	Ano	Evento
Milho	2008/09	Milho/09	Milho	2009/10	Milho/10
Aveia Branca	2009	Aveia/09	Soja	2012/13	Soja/13
Milho	2012/13	Milho/13	Trigo	2012	Trigo/12

\* Evento de colheita = nome atribuído ao respectivo mapa de colheita.

Em função da elevada densidade de informações (pontos) coletadas pelo sensor da colhedora e para que fosse possível a comparação entre os diferentes mapas de colheita, os dados foram inicialmente filtrados, com o intuito de eliminar erros grosseiros (MENEGATTI e MOLIN, 2004). A filtragem dos dados brutos geralmente exerce pouca influência sobre a distribuição espacial do rendimento de grãos em um mapa interpolado, no entanto se faz necessária em análises temporais (SANTI et al., 2013). Para isso, cada arquivo de dados foi processado no programa SMS Advance® - Ag Leader Technology e posteriormente exportado para o programa CR - Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007), onde os dados foram filtrados, eliminando-se em um raio de pesquisa de 50 metros os pontos com coeficiente de variação (CV%) superior a 30%, que caracterizam rendimentos inconsistentes (SHIRATSUCHI et al., 2005).

Após a filtragem, foi procedida à sobreposição dos dados em uma malha amostral quadriculada de 50 x 50 m (0,25 ha), a fim de permitir a comparação temporal entre mapas (mesmo número de células), reduzir o número de pontos e aumentar a velocidade de processamento dos dados (EITELWEIN, 2013) (Figura 2).

**Figura 2** – Esquema da disposição espacial da malha de 50 x 50 m utilizada para a sobreposição dos mapas de colheita nas respectivas áreas de estudo.

Cada quadricula recebeu um valor médio de rendimento de grãos, que posteriormente foi relativizado (percentual em relação ao rendimento de grãos médio da cultura na respectiva safra). Os mapas relativizados foram espacializados utilizando os valores médios de cada célula da grade ou pixel (TAGARAKIS et al., 2013; WANG e SHEN, 2015).

De posse dos mapas relativizados, foi procedida à sobreposição dos mesmos e a geração de um novo mapa, com a média relativa das três safras, para ambos as áreas (1 e 2). A distinção entre zonas foi procedida por meio de uma metodologia alternativa, a partir das metodologias já descritas por MOLIN (2002) e SHIRATSUCHI et al. (2005). A nova classificação teve por objetivo aumentar a distância relativa entre zonas, para que as mesmas se tonassem bem distintas dentro da área de produção. Assim as zonas foram definidas e agrupadas de acordo com a classificação exposta na Tabela 3.

**Tabela 3** – Classificação das zonas de rendimento de grãos de acordo com o percentual em relação à média das safras.

Potencial de rendimento de grãos	Terminologia	% em relação à média
Alto	ZA	> 110%
Médio-alto	ZMA	105 a 110%
Médio	ZM	95 a 105%
Médio-baixo	ZMB	90 a 95%
Baixo	ZB	< 90%

Os dados existentes em cada mapa de colheita foram submetidos à análise estatística descritiva obtendo-se as medidas de posição (mínimo, média e máximo) e dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose). A hipótese de normalidade foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk (W) (SHAPIRO e WILK, 1965) considerando-se como distribuição de probabilidade normal, os dados que apresentaram valor não significativo ao nível de 5%. O programa computacional utilizado foi o ASSISTAT (Versão 7.7).

A análise geoestatística foi realizada por meio de semivariogramas experimentais (VIEIRA, 2000), sendo os ajustes realizados por meio de modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear) utilizando-se o programa computacional Gamma Design Software – GS+ (ROBERTSON, 1998). Os modelos dos semivariogramas foram ajustados com base no melhor coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e avaliados pela técnica de validação cruzada. A partir do ajuste do modelo matemático, foram definidos os parâmetros do

semivariograma: efeito pepita (C0), patamar (C0+C1), alcance (a) e contribuição (C1). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado por meio da equação  $IDE = [C0/(C0+C1)]*100$ . Com base no IDE classificou-se o grau de dependência espacial (GDE) como forte, para  $IDE \leq 25\%$ ; moderado, para IDE entre 25 e 75%, e fraco, para  $IDE > 75\%$  (CAMBARDELLA et al., 1994).

Os mapas temporais foram comparados entre si a partir da análise de correlação linear de Pearson e as zonas de rendimento de grão foram agrupadas e analisadas em função da sua consistência e da sua distribuição espacial e temporal.

## 2.5 Resultados e discussão

A análise estatística descritiva dos mapas de colheita das diferentes safras e para as duas áreas de estudo é apresentada na Tabela 4. Para a área 1, o rendimento de grãos de Aveia/09 apresentou variação de 838 a 2.790 kg ha<sup>-1</sup>, com um rendimento médio de 1.912 kg ha<sup>-1</sup> e CV de 19,58%. A distribuição espacial do rendimento de grãos foi considerada normal (SHAPIRO e WILK, 1965) e apresentou coeficientes de assimetria e curtose próximos à zero (Tabela 4).

**Tabela 4** – Estatística descritiva dos mapas de colheita após a filtragem dos dados para as duas áreas de estudo.

Evento de colheita	Mínimo	Máximo	Média	DP <sup>1</sup>	CV% <sup>2</sup>	Cs <sup>3</sup>	Ck <sup>4</sup>	W <sup>5</sup>
Aveia/09	838	2.790	1.912	374,40	19,58	-0,10	-0,26	0,99 <sup>ns</sup>
Milho/09	2.110	10.464	6.380	1359,90	21,31	-0,23	-0,02	0,99 <sup>ns</sup>
Milho/13	2.360	9.539	7.473	1160,90	15,53	-1,72	3,19	0,83*
				Área 2				
Milho/10	2.367	10.414	8.361	957,70	11,45	-1,21	4,20	0,93*
Soja /13	2.093	8.379	3.986	547,45	13,73	3,64	24,09	0,64*
Trigo/12	471	3.889	2.721	475,40	17,47	-1,18	3,57	0,93*

<sup>1</sup> Desvio Padrão; <sup>2</sup> Coeficiente de variação; <sup>3</sup> Coeficiente de assimetria; <sup>4</sup> Coeficiente de curtose; <sup>5</sup> Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: \* significativo em níveis de  $p < 0,05$  e <sup>ns</sup> não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

O rendimento de grãos de Milho/09 também seguiu a tendência de distribuição normal, com coeficientes de assimetria e curtose de -0,23 e -0,02, respectivamente (Tabela 4). A variação observada para o rendimento de grãos Milho/09 foi de 2.110 a 10.464 kg ha<sup>-1</sup>, com média de 6380 kg ha<sup>-1</sup> e CV de 21,31%. Já o rendimento de grãos de Milho/13, apresentou valores mínimos de 2.360 kg ha<sup>-1</sup> e máximo de 9.539 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, a média do rendimento de grãos da cultura foi de 7.473 kg ha<sup>-1</sup>, superior se comparada à safra de Milho/09 (Tabela 4).

Na safra de Milho/13, foram observados coeficientes de curtose superiores (3,19), os quais caracterizam uma frequência de distribuição com menos desvios em relação à média. Da mesma forma, os resultados evidenciaram um coeficiente de assimetria negativo (-1,72), o que caracteriza uma curva assimétrica negativa, que indica a cauda da curva de distribuição deslocada para o lado esquerdo e, portanto, um desvio da curva para a direita em comparação a curva normal (Tabela 4). Estes resultados caracterizam desvios positivos de rendimento de grãos em relação à média, o que pode indicar um menor número de pontos com baixo rendimento de grãos em relação aos mapas de colheita de Aveia/09 e Milho/09.

Em relação à área 2, o rendimento de grãos de Milho/10 apresentou variação de 2.367 a 10414 kg ha<sup>-1</sup> com média de 8.361 kg ha<sup>-1</sup> e CV de 11,45%. A cultura apresentou resultados considerados não normais (SHAPIRO e WILK, 1965), com coeficientes de -1,21 para assimetria e 4,20 para curtose. Esta mesma tendência foi observada para os rendimentos de grãos de Soja/13, onde foram obtidos coeficientes de assimetria e curtose ainda mais dispersos, sendo de 3,64 para assimetria e 24,09 para curtose. A safra de Trigo/12 por sua vez, apresentou um valor de curtose de 3,57 (Tabela 4). Os elevados coeficientes de curtose obtidos para o rendimento de grãos de Milho/10, Soja/13 e Trigo/12 na área 2, podem estar indicando uma menor variabilidade espacial do rendimento de grãos, ou seja, menores desvios em relação à média central, o que pode estar caracterizando uma área mais homogênea e, portanto, com menor potencial para distinção entre zonas de alto e baixo rendimento de grãos.

A cultura da Soja/13 apresentou rendimento de grãos médio de 3986 kg ha<sup>-1</sup> com variação entre 2.093 e 8.379 kg ha<sup>-1</sup> enquanto que Trigo/12 apresentou variação de 471 a 3.889 kg ha<sup>-1</sup>, com média de 2.721 kg ha<sup>-1</sup>. O Trigo/12 também apresentou distribuição considerada não normal (SHAPIRO e WILK, 1965) (Tabela 4).

A análise geoestatística revelou que para a área 1 o melhor modelo ajustado para a safra de Aveia/09 foi o exponencial, enquanto que Milho/09 e Milho/13 apresentaram melhor ajuste ao modelo esférico (Tabela 5). Para a área 2 todos as safras (Milho/10, Soja/13 e Trigo/12) apresentaram melhor ajuste ao modelo esférico. O ajuste ao modelo esférico tem

sido descrito como o mais adaptado para descrever atributos de solo (MIAO et al., 2006; AMADO et al., 2007) e de planta (AMADO et al., 2009). O ajuste ao modelo esférico também foi observado por Milani et al. (2006) e Amado et al. (2007) para a cultura da soja, contudo para a cultura do milho, Amado et al. (2007) obtiveram melhores ajuste ao modelo exponencial, diferente ao observado neste estudo.

Os mapas de Milho/09 e Milho/13 (área 1) e Soja/13 e Trigo/12 (área 2) apresentaram forte dependência espacial, ou seja, com o efeito pepita ocupando <25% do patamar (Tabela 5) (CAMBARDELLA et al., 1994), o que pode estar indicando que o rendimento de grãos é influenciado, em sua maior parte, por fatores locais e inerentes ao solo, como por exemplo a textura (CAMBARDELLA et al., 1994; AMADO et al., 2009). Neste caso, uma análise detalhada das zonas de rendimento de grãos seria necessária para confirmar tal afirmação.

**Tabela 5** – Parâmetros geoestatísticos dos mapas de colheita após a filtragem dos dados para as duas áreas de estudo.

Evento de colheita	Efeito Pepita (C <sub>0</sub> )	Patamar (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	Contribuição (C <sub>1</sub> )	Alcance (a)	Modelo	r <sup>2</sup>	Dependência espacial <sup>(1)</sup>	
							IDE	GDE
Área 1 <sup>(2)</sup>								
Aveia/09	46800	163199	116399	846	Exponencial	0,78	28,7	Moderada
Milho/09	899000	4024000	312500	3110	Esférico	0,93	22,3	Forte
Milho/13	365000	1464000	1099000	574	Esférico	0,91	24,9	Forte
Área 2 <sup>(3)</sup>								
Milho/10	357000	1136000	2434000	956	Esférico	0,99	31,4	Moderada
Soja /13	48300	223900	175600	3110	Esférico	0,95	21,6	Forte
Trigo/12	71000	653000	582000	3083	Esférico	0,81	10,9	Forte

<sup>(1)</sup> IDE= Índice de dependência espacial; GDE= Grau de dependência espacial; <sup>(2)</sup> n= 467; <sup>(3)</sup> n= 427.

Os valores de alcance para os mapas de colheita estudados variaram de 574 a 3110 (Tabela 5). O alcance representa a distância limite de dependência espacial, sendo que, variáveis localizadas a distâncias maiores que os valores de alcance têm distribuição espacial considerada aleatória e, por isso, são independentes entre si (VIEIRA, 2000). Deste modo, o alcance pode ser usado para determinar a distância adequada entre amostras para que se obtenham dados confiáveis (VIEIRA, 2000). Os resultados confirmam, portanto, que a redução no número de pontos de produtividade a partir da filtragem dos dados para uma malha de 50x50 m, foi capaz de garantir a dependência espacial (AMADO et al., 2007). Este resultado indica que filtragem é uma alternativa quando se deseja o processamento mais rápido das informações e o estabelecimento de correlações com atributos amostrados em

malhas maiores (SANTI et al., 2013). Eitelwein (2013) concluiu em seus estudos que o aumento do raio de pesquisa durante a filtragem de mapas de colheita, aumentou a correlação com atributos químicos do solo.

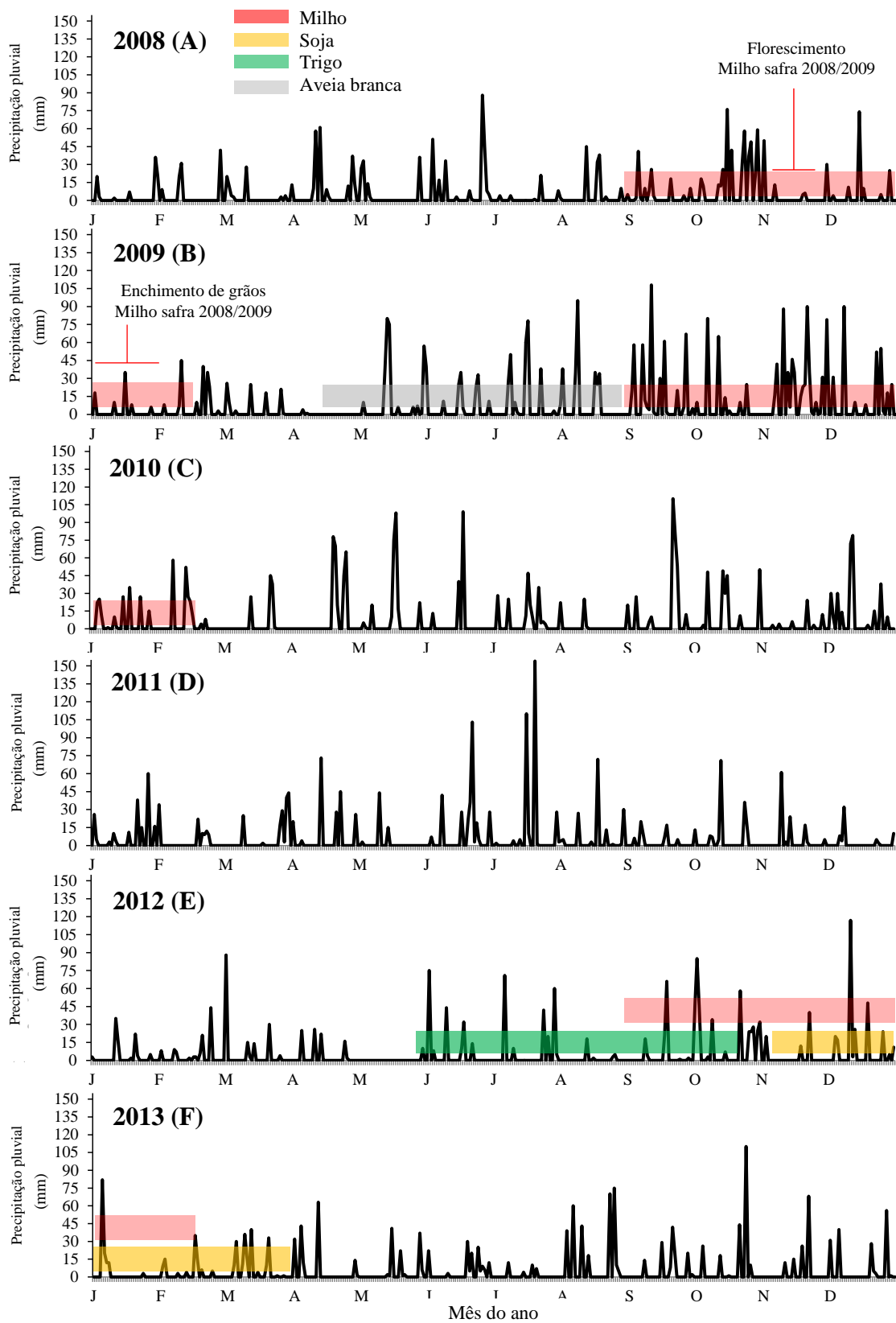
Os resultados da análise de correlação entre mapas de colheita permitiram constatar que na área 1 o mapa de Aveia/09 apresentou similaridade com os mapas de Milho/09 e Milho/13. Foram observados coeficientes de correlação ( $r$ ) significativos de 0,46 com o mapa de produtividade de Milho/09 e de 0,41 com o mapa de produtividade de Milho/13 (Tabela 6). Estes resultados podem indicar que os locais de maior e menor rendimento de grãos apresentam atributos que atuam de forma análoga sobre as culturas de aveia branca e milho. Estes atributos podem estar relacionados à qualidade do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009). Associações entre o rendimento de aveia e milho também foram observados Silva et al. (2009) e Lázaro et al. (2013).

**Tabela 6** – Matriz de correlação linear de Pearson entre os mapas de colheita obtidos nas duas áreas de estudo.

Evento de colheita	Área 1		
	Aveia/09	Milho/09	Milho/13
Aveia/09	1,00	<b>0,46*</b>	<b>0,41*</b>
Milho/09	-	1,00	0,008 <sup>ns</sup>
Milho/13	-	-	1,00
	Área 2		
	Milho/10	Soja/13	Trigo/12
Milho/10	1,00	<b>0,38*</b>	<b>0,49*</b>
Soja /13	-	1,00	<b>0,27*</b>
Trigo/12	-	-	1,00

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro e <sup>ns</sup> não significativo.

A inexistência de correlação entre os mapas de colheita de Milho/09 e de Milho/13 pode ser explicada pelas condições climáticas observadas no período correspondente à safra de Milho/09, quando baixas precipitações pluviais foram observadas entre os meses de novembro e dezembro de 2008 (Figura 3A), período que compreendeu a fase de florescimento na cultura do milho, e durante os meses de janeiro e fevereiro de 2009, que compreenderam o período de enchimento de grãos (Figura 3B). Segundo Magalhães e Durães (2006) estes períodos são extremamente críticos para a cultura do milho, pois atingem dois principais estádios, sendo: a iniciação floral com o desenvolvimento da inflorescência (quando o número potencial de grãos é definido) e a fertilização, quando o potencial de produção é fixado. Nesta fase, a presença da água é fundamental para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico (MAGALHÃES e DURÃES, 2006).



**Figura 3** – Precipitação pluvial diária (mm) ocorrida nas áreas experimentais para os respectivos anos de 2008 (A), 2009 (B), 2010 (C), 2011 (D), 2012 (E) e 2013 (F).

Fonte: Dados cedidos pelo proprietário da área.

As menores precipitações pluviárias observadas no período culminaram em menor rendimento de grãos médio de Milho/09, e também no surgimento de zonas de maior rendimento de grãos em áreas distintas, as quais representam locais de maior umidade e de menor altitude (dados não mostrados). Estas áreas estão dispostas na região norte do mapa, conforme evidenciado na Figura 4B. Amado et al. (2007) também verificaram em seus estudos o aumento da variabilidade espacial da produtividade de soja e milho em anos com restrição hídrica. Santi (2007) analisando mapas de colheita não encontrou correlações significativas entre mapas de soja com demais culturas quando a mesma foi submetida a um baixo regime hídrico.

Dados semelhante aos observados para a cultura do milho já foram reportados por Kaspar et al. (2003). Os autores consideram que na cultura do milho, para a distinção de zonas de rendimento de grãos é importante observar as condições do terreno e o regime hídrico ao qual a cultura está submetida no espaço. Guastaferrero et al. (2010) salientam que os padrões de produção estão muito ligados a variação espacial da água disponível no solo, o que reflete claramente sobre inúmeros aspectos fisiológicos da cultura.

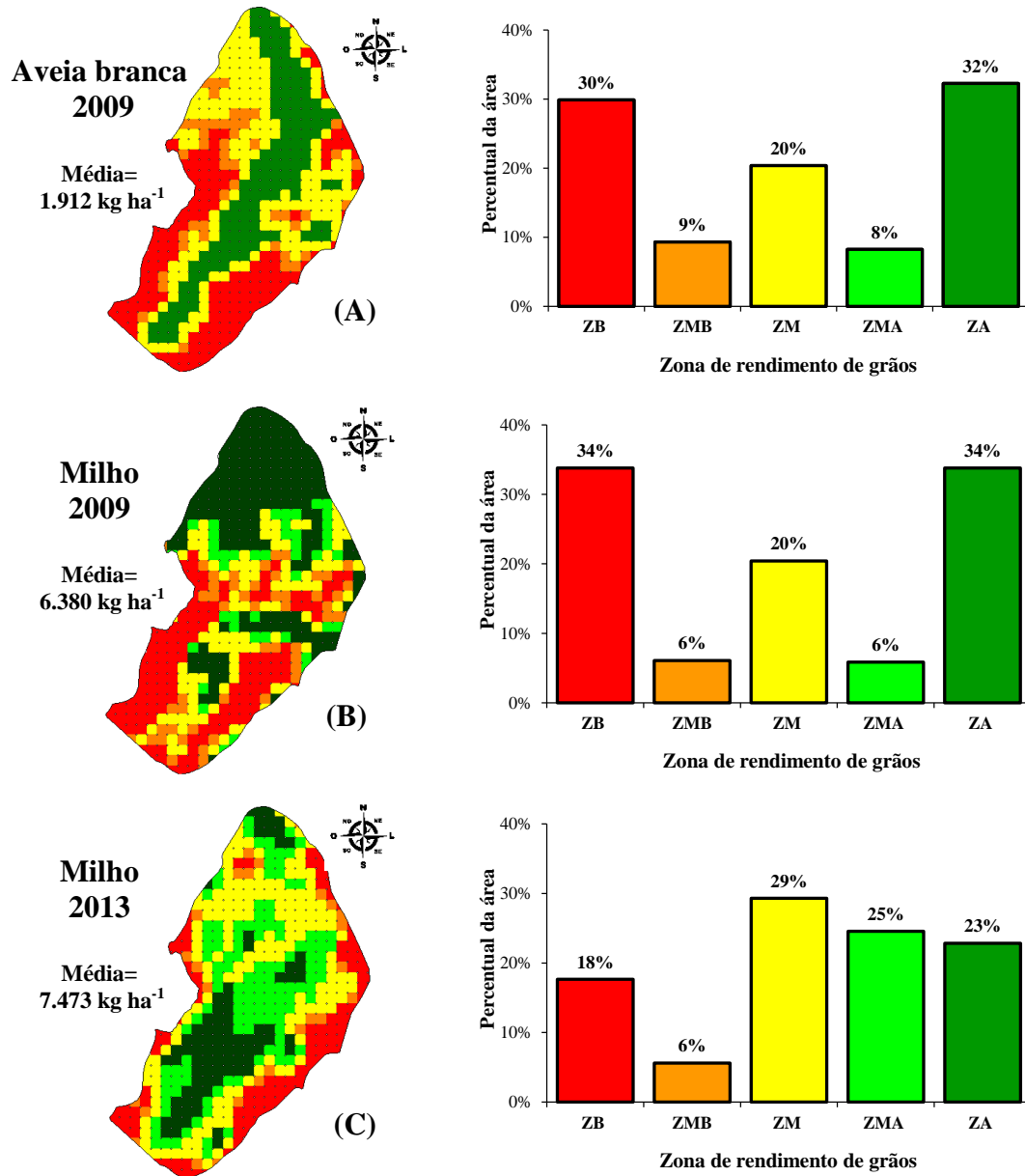
Em função da variabilidade espacial que a umidade do solo pode ocasionar na área de produção em anos com déficit hídrico, Santos et al. (2001) reforçam a ideia de que um único ano safra de milho, não deve ser usado para a definição de zonas de rendimento de grãos e que a análise temporal de diversos mapas é o meio mais propício para a análise de tendências. Deste modo, Trabachini et al. (2009), definiram zonas de produtividade a partir de três mapas sequenciais de milho safrinha, enquanto que Milani et al. (2006) utilizaram cinco mapas sequencias da cultura da soja. Shiratsuchi et al. (2005) e Santi (2007), por sua vez, definiram zonas a partir da análise sequencial de três e seis mapas de colheita, respectivamente, porém de culturas alternadas, assim como Horbe et al. (2013) que definiram zonas de produtividade a partir de sete mapas de soja e dois de milho. Os resultados descritos atualmente na literatura enfatizam, portanto, que para a definição de zonas de produtividade a utilização de vários mapas temáticos é fundamental (SANTOS et al., 2001; MOLIN, 2002; SANTI, 2007; TRABACHINI et al., 2009; AMADO e SANTI, 2011; EITELWEIN, 2013; HORBE, et al., 2013; SANTI et al., 2013), corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

Na área 2 foram observadas correlações significativas entre mapas de colheita de Milho/10 e Soja/13 com coeficiente  $r$  de 0,38, Milho/10 e Trigo/12 com coeficiente  $r$  de 0,49 e entre os mapas de Soja/13 e Trigo/12, com coeficiente  $r$  de 0,27 (Tabela 6).

Apesar da inexistência de correlação entre os mapas de colheita da mesma cultura (Milho/09 e Milho/13) para a área 1 (função dos déficits hídricos ocorridos durante a safra de



Milho/09) e dos menores coeficientes entre os mapas de diferentes culturas para a área 2 (Soja/13 e Trigo/12) é possível evidenciar similaridade entre os mapas, no que diz respeito às ZB (Figura 4 e 6).



**Figura 4** – Mapas de rendimento de grãos relativo de Aveia/09 (A); Milho/09 (B) e Milho/13 (C) referentes à área experimental 1 e classificados em ZB (<90%), ZMB (90-95%), ZM (95-105%), ZMA (105-110%) e ZA (>110%), seguido do respectivo percentual ocupado pelas zonas em cada mapa de colheita.

Independente do ano agrícola, as ZB continuaram incidindo sobre locais semelhantes. Os resultados apontam que para o referido local de estudo a utilização de mapas temporais de colheita, esboçou vantagem maioritária para a definição das ZB em comparação as ZA.

No caso de culturas de verão (como soja e milho), a utilização de mapas de safras com baixa precipitação pluvial, também se mostrou eficiente para a definição das ZB. Segundo Berlato et al. (2005) no Rio Grande do Sul, a instabilidade climática tem ocorrido com certa frequência e influencia acentuadamente a variabilidade temporal do rendimento de grãos das culturas. Neste sentido, a precipitação pluvial tem sido o fator mais decisivo sobre a variabilidade interanual da produção (CUNHA et al., 2001; BERLATO e FONTANA, 2003). Estima-se que no Rio Grande do Sul, para a cultura da soja, 93% das perdas na safra ocorrem em razão do déficit hídrico (BERLATO e FONTANA, 2003). Neste sentido, Eitelwein (2013) sugere que em áreas com histórico no uso de ferramentas de AP e onde as baixas produtividades continuam sendo evidenciadas em locais semelhantes ao longo do tempo, torna-se possível à realização de uma análise específica destes locais, ou seja, uma análise sistemática, o que poderá tornar a amostragem de atributos economicamente mais eficiente (WANG et al., 2012; WANG e SHEN, 2015) e localmente mais precisa (CHERUBIN, et al., 2014).

Por outro lado, os resultados demonstram que para uma definição acurada das ZA, é importante uma análise criteriosa e um tanto coerente, em função da condição climática observada no respectivo ano agrícola. Esta constatação torna-se valida uma vez que as zonas podem tender a se concentrar em locais com maior umidade do solo, quando da ocorrência destes locais em áreas de produção para as culturas de verão. Segundo Carvalho et al. (2001), a produtividade das culturas sofre influências espaciais e também temporais, e por isso é importante considerar que as ZA podem não apresentar a mesma tendência de distribuição.

Guastaferrero et al. (2010) salientam que a expectativa de que as zonas de produtividade sempre expressem padrões espaciais semelhantes podem levar ao equívoco e por isso os estudos devem ser procedidos criteriosamente e para cada talhão agrícola, uma vez que cada área pode apresentar um fator limitante diferente (WANG e SHEN, 2015). Resultados assim, foram descritos por Blackmore et al. (2003), onde os autores não observaram tendências produtivas ao utilizarem seis mapas de colheita de trigo, cebola, cevada e canola. No entanto, Santi (2007) observou para as condições de sul do Brasil que uma sequência de três mapas de colheita foi suficiente para elucidar ZA, ZM e ZB, permanecendo estatisticamente consistente até o sexto evento de colheita avaliado.

Os resultados obtidos levam a crer que nas condições onde o estudo foi conduzido os fatores limitantes na ZA se mostram menos estáveis do que aqueles relacionados à ZB. Mesmo assim, WANG e SHEN (2015) defendem que mesmo não sendo observadas relações perfeitas entre safras, um mapa espaço-temporal de produtividade é capaz de evidenciar tendências na produção e, portanto servir como base para demais estudos.

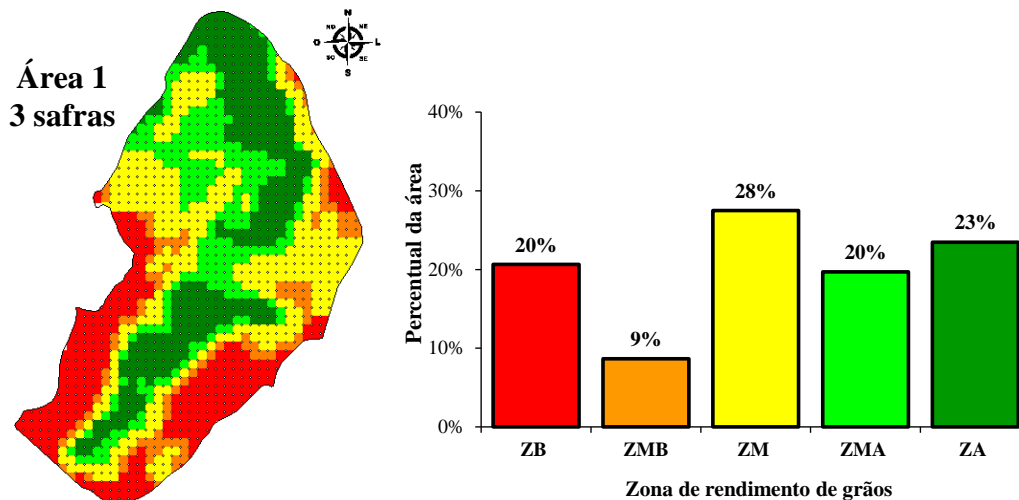
A relativização do rendimento de grãos mostrou-se uma ferramenta conveniente para que sejam verificadas as tendências produtivas de cada cultura, bem como, para se verificar se a hipótese de estabilidade produtiva (EITELWEIN, 2013) pode ser aceita ou rejeitada. Essas informações reforçam dados já citados na literatura de que os mapas temáticos relativizados são excelentes ferramentas para a definição de zonas de produtividade (BLACKMORE, 2000; MOLIN, 2002; BLACKMORE et al., 2003; SHIRATSUCHI et al., 2005; AMADO et al., 2007; SANTI et al., 2013; TAGARAKIS et al., 2013; WANG e SHEN, 2015).

O mapa de Aveia/09 (área 1) mostrou elevada heterogeneidade na produção (Figura 4). Classificando-se as zonas de acordo com a metodologia proposta, foi possível verificar que 30% da área foi representada pela ZB (Figura 4). A ZMB representou 9% da área, enquanto que a ZM e a ZMA representaram 20% e 8%, respectivamente. A ZA por sua vez representou 32%, o equivalente a 35 hectares. Estes resultados caracterizam a cultura da aveia como um adequado indicador da variabilidade espacial existente na área.

O mapa de Milho/09 manteve proporções bastante semelhantes. No entanto, conforme destacado, o ano de 2009 foi representado por menores precipitações pluviais em estádios importantes da cultura, o que em média, culminou em baixo rendimento de grãos. Mesmo assim, as ZB se mantiveram em proporções muito próximas a safra de aveia branca, ocupando 34% do total da área (39,8 ha). ZMB, ZM e ZMA representam respectivamente 6%, 20% e 8%, enquanto a ZA representou 34%. Apesar das semelhanças percentuais para a ZA em ambas as safras, é importante considerar que a disposição espacial foi bastante diferenciada (Figura 4).

A ZA observada para Aveia/09 ocupou grande parte do centro da área e se dispôs no sentido norte-sul, enquanto que a ZA para o Milho/09 ocupou grande parte da área na posição norte (Figura 4), como um resultado da maior concentração de umidade nestes locais (dados não quantificados, porém constatados na área do estudo). Estes resultados reforçam que o padrão de distribuição das ZA pode ser variável ao longo dos anos (BLACKMORE et al., 2003; GUASTAFERRO et al., 2010; EITELWEIN, 2013), o que requer certo conhecimento espacial da área de produção, para que sejam evitadas decisões equivocadas.

A safra de Milho/13 mostrou ser mais estável espacialmente, onde o mapa de colheita ratificou a presença de uma ZB menor em relação às demais safras (Aveia/09 e Milho/09). A ZB representou 18% do total da área enquanto que ZMB, ZM, ZMA e ZA representaram respectivamente 6%, 29%, 25% e 23% (Figura 4). De modo geral, a análise dos mapas de colheita relativizados para a área 1, demonstrou que o talhão apresenta heterogeneidade pronunciada, independente da cultura implementada. A área definiu locais bem distintos quanto ao potencial produtivo das culturas, principalmente para ZB. Estes resultados podem ser constatados de forma consistente a partir da sobreposição e da relativização dos mapas das três safras (Aveia/09, Milho/09 e Milho/13) em um único mapa (Figura 5).



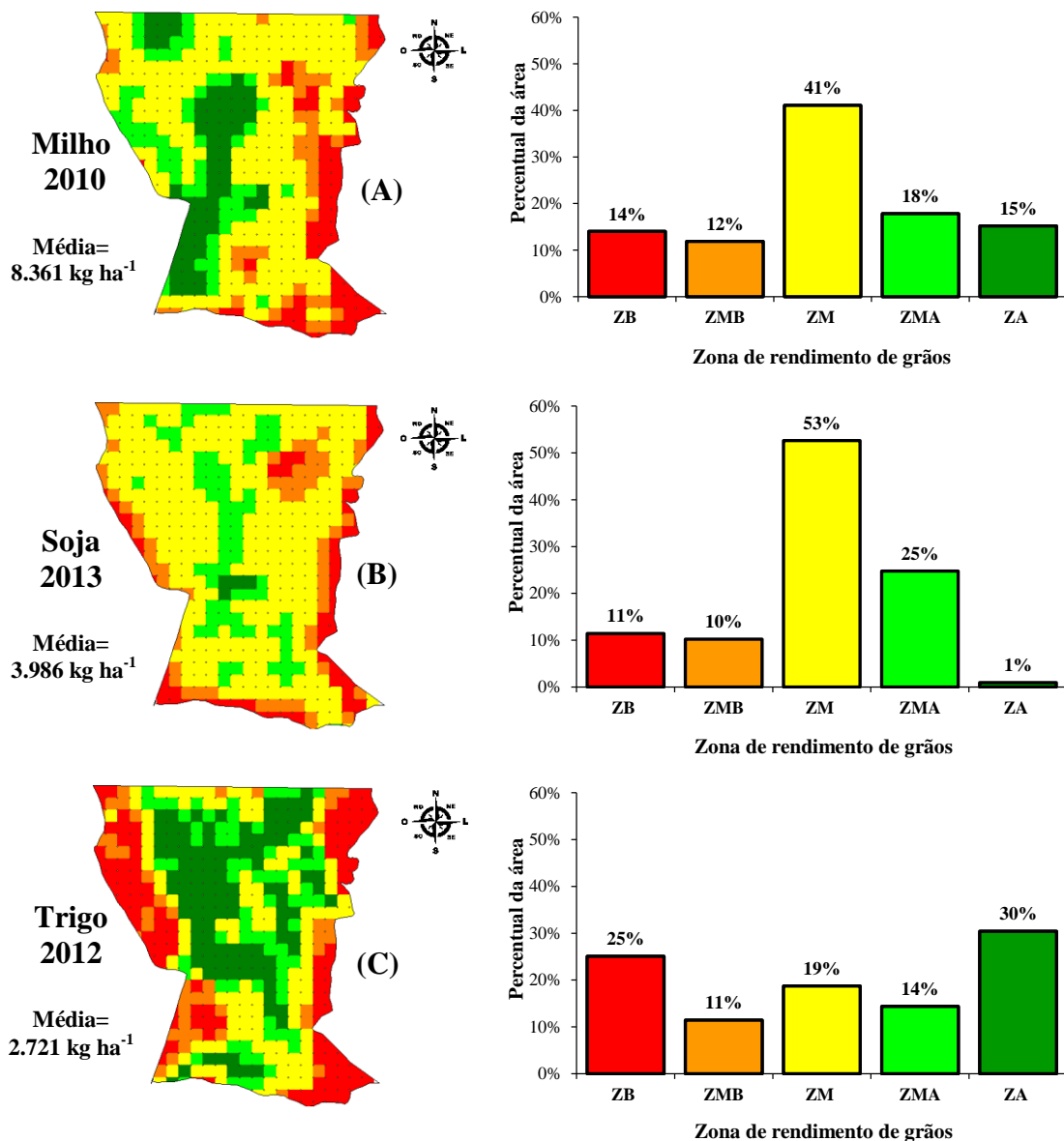
**Figura 5** – Mapa de rendimento de grãos relativo obtido para a área 1 a partir da sobreposição de três mapas de colheita (Aveia/09, Milho/09 e Milho/13) e classificado em ZB (<90%), ZMB (90-95%), ZM (95-105%), ZMA (105-110%) e ZA (>110%), seguido do respectivo percentual ocupado pelas zonas.

A sobreposição dos mapas de Aveia/09, Milho/09 e Milho/13 e a geração de um novo mapa de produtividade para a área 1 manteve a distinção entre as zonas propostas, e demonstrou o potencial em caracterizar zonas de maior e menor rendimento de grãos. A ZB representou um percentual de 20% do total da área, enquanto que a ZMB ocupou 9%. ZM e ZMA ocuparam 28% e 20% respectivamente, enquanto que a ZA ocupou 23% do total da área (Figura 5).

Comparando-se, com o que foi proposto por Molin (2002), a metodologia alternativa estratificou dentro da zona que já era considerada como de alto rendimento (>105%), cerca de 27,5 ha (23%). Conforme a metodologia proposta por Molin (2002), a ZA estaria representando na área 43% e não 23%. A ZB por sua vez, estaria ocupando 29%, diferente do proposto que é de 20%. Desta forma, para fins de manejo é importante sugerir o distanciamento entre zonas, a fim de que as futuras intervenções sejam procedidas em zonas que realmente exponham baixo ou alto potencial produtivo. Sabe-se que pequenas variações irão ocorrer entre as culturas e os anos agrícolas e, portanto a relativização deve buscar evitar a influência de uma única safra agrícola sobre as zonas de rendimento de grãos.

Os mapas de rendimento de grãos relativo referentes à área 2 são apresentados na Figura 6. Os resultados demonstraram diferenças em relação ao percentual ocupado pelas zonas das diferentes safras em relação à área 1. Para a safra de Milho/10 a ZB representou 14% da área (15,02 ha), enquanto que ZMB, ZM e ZMA apresentaram 12%, 41% e 18%. A ZA ocupou 15%, o equivalente a 16,29 ha (Figura 6). O elevado percentual ocupado pela ZM (44,04 ha), pode estar indicando uma área mais homogênea ou estável quanto ao rendimento de grãos, em comparação a área 1. Estes dados ficam ainda mais evidentes se analisar a safra de Soja/13 onde a ZM ocupou 53% da área, o que corresponde a 56,4 ha. A ZB representou 11% da área, enquanto que apenas 1% da área foi ocupado pela ZA.

Além do fator local, estes resultados podem estar relacionados também com a plasticidade fenotípica da cultura da soja (PIRES et al., 1998; THOMAS e COSTA, 2010), ou seja, a capacidade de se adaptar às condições ambientais, onde mesmo em condições inferiores de produção a cultura respondeu a estes efeitos através de compensação entre plantas. Esta compensação proporcional é feita por meio de modificações na morfologia, na arquitetura e nos componentes de rendimento de cada planta (PIRES et al., 2000; RAMBO et al., 2003).



**Figura 6** – Mapas de rendimento de grãos relativo de Milho/10 (A); Soja/13 (B) e Trigo/12 (C) referentes à área experimental 2 e classificados em ZB (<90%), ZMB (90-95%), ZM (95-105%), ZMA (105-110%) e ZA (>110%), seguido do respectivo percentual ocupado pelas zonas em cada mapa de colheita.

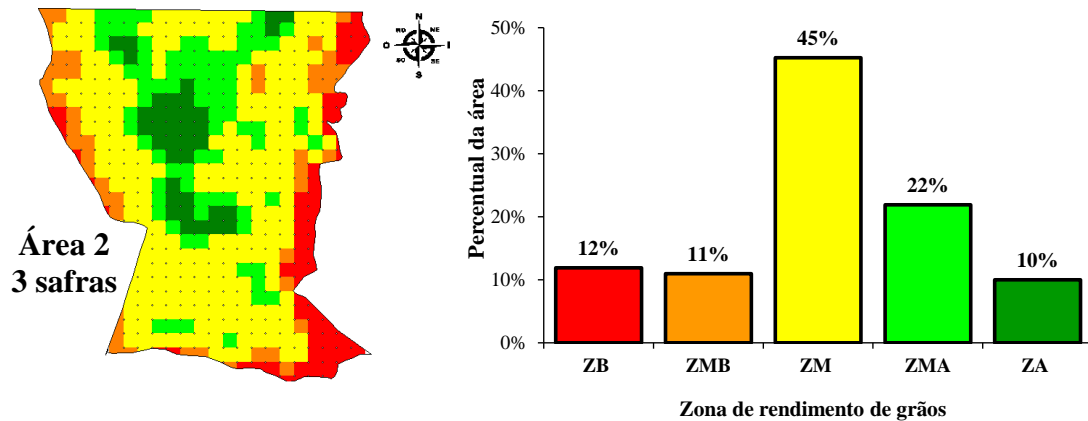
Este fato indica que a utilização de mapas de colheita da cultura da soja, necessita de maior cautela ao serem considerados para a definição de zonas de manejo, uma vez que podem ser indicadores menos concisos comparativamente a cultura do milho, por exemplo. Resultados semelhantes também já foram constatados por Amado et al. (2007). Os autores salientam que em anos com precipitação pluvial normal, a cultura da soja apresenta capacidade restrita para a discriminação de zonas de rendimento de grãos, ou seja, a variabilidade espacial é baixa. Estes resultados vão de encontro aos obtidos neste estudo, onde

o ano agrícola 2012/13 não apresentou restrições hídricas para a cultura da soja (Figura 3). Os resultados em relação à distribuição homogênea do rendimento de grãos já haviam sido descritos anteriormente, onde em função dos elevados coeficientes de curtose (Ck) já era possível constatar uma variabilidade muito baixa na área, com dados altamente concentrados no centro da curva de normalidade e, portanto, com baixos desvios em relação à média.

O mapa de colheita de Trigo/12 foi o que apresentou a maior distinção entre zonas para a área 2, com a ZB ocupando 25% (26,86 ha), ZM 19% (20,08 ha) e a ZA representando 30% (32,6 ha) (Figura 6). Estes resultados evidenciam que assim como a cultura do milho, o trigo também apresenta maior heterogeneidade na produtividade, distinguindo de forma mais pronunciada as diferenças no rendimento de grãos. Trigo e milho apresentaram um coeficiente de correlação de 0,45 (Tabela 6). Amado et al. (2007), estudando a variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas, concluíram que o milho foi mais eficiente para comprovar a variabilidade espacial existente na lavoura em relação a soja, corroborando com os resultados obtidos neste estudo. Por outro lado, os resultados deste estudo demonstram que outras gramíneas como é o caso do trigo, também se destacam no que diz respeito à caracterização de zonas de manejo. Em função disso, muitos estudos vêm utilizando o vigor vegetativo da cultura do trigo como um dos fatores para a definição das zonas (MOGES et al., 2004; ARAÚJO et al., 2005; BREDEMEIER et al., 2013; DIACONO et al., 2014). Se tratando do sul do Brasil o uso do vigor vegetativo do trigo, determinado em estádios iniciais por meio de sensores de vegetação (BREDEMEIER et al., 2013), surge como uma estratégia importante para que se possa, de certa forma, antecipar as informações, uma vez que a variabilidade no rendimento de grãos da cultura é altamente dependente de fatores como geadas, precipitação pluvial e acamamento. Neste caso, o uso de mapas de colheita sem o conhecimento detalhado em relação à ocorrência de tais intempéries pode distorcer as informações.

A sobreposição dos mapas referentes às três safras da área 2 é apresentada na Figura 7. O mapa evidenciou a manutenção da ZM com elevado percentual de ocupação na área (45%), o que representa 48,49 ha. Este resultado confirma o fato de que a área 2 apresenta maior homogeneidade na produção, com menor distinção entre as zonas. A ZB ocupou 12% da área (12,76 ha), resultados considerados baixos, se comparados a área 1 onde a ZB ocupou 23% da área. A mesma tendência foi verificada para a ZA, a qual ocupou 10% da área (10,72 ha), contra 26% da área 1 e sendo representada quase que em sua totalidade pelas safras de trigo e milho. Comparando-se com a metodologia proposta por Molin (2002), a ZA estaria

representando na área 32%, diferentemente dos 10% propostos, enquanto que a ZB representaria 23% contra os 12% considerados.



**Figura 7** – Mapa de rendimento de grãos relativo obtido para a área 2 a partir da sobreposição de três mapas de colheita (Milho/10, Soja/13 e Trigo/12) e classificado em ZB (<90%), ZMB (90-95%), ZM (95-105%), ZMA (105-110%) e ZA (>110%), seguido do respectivo percentual ocupado pelas zonas.

Os resultados demonstram, portanto, que a área 2, se caracteriza como uma área de produção mais homogênea e com zonas de produtividade menos distintas em relação a área 1. Tais constatações confirmam o que foi reportado por Guastaferrero et al. (2010) de que as zonas de produtividade apresentam distribuição muito variável em função do local. Neste sentido, a estabilidade produtiva (EITELWEIN, 2013; SANTI et al., 2013), quando constatada, necessita ser criteriosamente analisada para cada área agrícola e além de outros fatores, deve considerar o regime hídrico do ano agrícola e quais foram as respectivas culturas utilizadas para a definição, uma vez que as respostas podem ser muito distintas.

Tais resultados também reforçam que, quando se almeja definir zonas para fins de manejo, obrigatoriamente, deve-se incluir e considerar eventos de colheita de grãos, seja na própria sobreposição de mapas temáticos ou mesmo em algoritmos que associam outras variáveis, pois é a partir deles, que se pode avaliar as intervenções procedidas em anos anteriores e quantificar quais foram os reais impactos sobre a lucratividade (nível de acerto).

Neste estudo, muitos mapas não puderam ser utilizados em virtude de se apresentarem incompletos. Este fato remete a necessidade de monitores com melhor operacionalidade, maior capacidade de armazenamento e maior facilidade de calibração, as quais têm sido



descritas a campo como as principais dificuldades, bem como, as causas da perda de muitas informações.

## 2.6 Conclusões

As duas áreas experimentais estudadas diferem quanto à distribuição espacial do rendimento de grãos relativo;

A utilização de um único mapa de colheita para a definição de zonas de rendimento de grãos pode levar ao equívoco, uma vez que estes estão sujeitos a fatores inerentes ao respectivo ano agrícola;

A sobreposição de três mapas de colheita proporcionou a definição de zonas consistentes, sendo as zonas de alto rendimento de grãos mais instáveis em relação às zonas de baixo rendimento de grãos nas áreas estudadas;

A área 2 apresentou rendimento de grãos mais homogêneo em relação a área 1 e as culturas de milho e aveia foram indicadores mais eficientes da variabilidade espacial;

Para a melhor distinção, sugere-se que as zonas de alto rendimento sejam agrupadas como  $>110\%$  e as de baixa como  $<90\%$  em relação à média da área.

## 2.7 Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e aos senhores Eliseu José Schaedler e Carlos Eduardo Dauve, pela cedência das informações pertencentes à Fazenda Vila Morena e por todo o apoio, prestatividade, amizade e incentivo incondicional a pesquisa ao longo de todos esses anos.

## 2.8 Referências Bibliográficas

AMADO, T. J. C; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 831-843, 2009.

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

AMADO, T. J. C., SANTI, A. L. **Using precision farming to overcome yield-limiting factors in Southern Brazil Oxisols: A case study**. In D. CLAY, J. SHANAHAN; J. FRANCIS PIERCE (Eds.), *GIS Applications in Agriculture—Nutrient Management for Improved Energy Efficiency*, v. 3. 3<sup>a</sup> ed., p. 31–60. CRC: Boca Raton, 2011.

ARAÚJO, J. C.; VETTORAZZI, C. A.; MOLIN, J. P. Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.3, p.437-447, 2005.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, A. I.; AMARAL, J. R. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Revista Engenharia Rural**, Piracicaba, v.8, n.1, p.97-111, 1997.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.423-432, 2005.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 26, p. 37 – 51, 2000.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 4, p. 455- 466, 2003.

BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A. T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, v.43, n.7, p.1147-1154, 2013.

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**, v.58, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C. C. P. **Como avaliar a similaridade entre mapas de produtividade**. 1 ed. Campinas: Relatório técnico/ Embrapa informática agropecuária, 2001. 24p.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; MENEGOL, D. R.; DA ROS, C. O.; PIAS, O. H. de C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.425-432, 2014.

CUNHA, G. R.; BARNI, N. A.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; PAZINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PIRES, J. L. F. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3 (número especial- Zoneamento Agrícola), p. 6-459, 2001.

DIACONO, M.; CASTRIGNANO, A.; VITTI, C.; STELLACCI, A. M.; MARINO, L. COCOZZA, C.; BENEDETTO, D. de; TROCCOLI, A.; RUBINO, P.; VENTRELLA, D. An approach for assessing the effects of site-specific fertilization on crop growth and yield of durum wheat in organic agriculture. **Precision Agriculture**, v. 15, p. 479-498, 2014.

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) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

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.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 2115-2126, 2011.

GUASTAFERRO, F.; CASTRIGNANO, A.; DE BENEDETTO, D.; SOLLITTO, D.; TROCCOLI, A.; CAFARELLI, B. A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. **Precision Agriculture**, v. 11, p. 600–620, 2010.

HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.14, 450-465, 2013.

KASPAR, T. C.; COLVIN, T. S.; JAYNES, D. B.; KARLEN, D. L.; JAMES, D. E.; MEEK, D. W.; PULIDO, D.; BUTLER, H. Relationship between six years of corn yields and terrain attributes. **Precision Agriculture**, v. 4, p. 87-101, 2003.

LÁZARO, R. D. L.; COSTA, A. C. T da; SILVA, K. de F. da; SARTO, M. V. M.; JÚNIOR, J. B. D. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 10-17, 2013.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. Circular Técnica n.76.

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

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.126-134, 2004.

MIAO, Y.; MULLA, D. J.; ROBERT, P. C. Spatial variability of soil properties, corn quality and yield in two Illinois, USA fields: Implications for precision corn management. **Precision Agriculture**, v. 7, p.5-20, 2006.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MOGES, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 8, p.1431-1441, 2004.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Universidade Federal de Viçosa, 2000.

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

PIRES, J. L. F.; COSTA J. A.; THOMAS A. L.; MAEHLER, A. R. Efeitos de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1541-1547, 2000.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, p. 405-411, 2003.

ROBERTSON, G.P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03. Beta, Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Agrária**, v.8, n.3, p.510-515, 2013.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, D. P. ; CASTRO, D. M. ; DELLA FLORA, L. P. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 1, p. 16-23, 2014.

SANTOS, A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J. F. L; YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 88-95, 2001.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. ; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

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

SHIRATSUCHI, L. S.; FACCIONI, G. C.; QUEIROS, L. R. **Classificação no supervisionada no delineamento de zonas de manejo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 16p. (Documentos, 150).

SILVA, M. A. G. da; PORTO, S. M. A; MANNIGEL, A. R.; MUNIZ, A. S.; MATA, J. D. V.; NUMOTO, A. Y. Manejo da adubação nitrogenada e influência no crescimento da aveia preta e na produtividade do milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 275-281, 2009.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.895-905, 2011.

TAGARAKIS, A.; LIAKOS, V.; FOUNTAS, S.; KOUNDOURAS, S.; GEMTOS, T. A. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevine. **Precision Agriculture**. v. 14, p. 18–39, 2013.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos**. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Ed.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.13-33.

TRABACHINI, A.; MANTOAM, E. J.; PAVLU, F. A.; MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo baseado em mapas de produtividade. **Revista Sapere**, v. 1, p. 1-8, 2009.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, 352p. p.1-54.

WANG, Y. P.; CHEN, S. H.; CHANG, K. W.; SHEN, Y. Identifying and characterizing yield limiting factors in paddy rice using remote sensing yield maps. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 553–567, 2012.

WANG, Y. P.; SHEN, Y. Identifying and characterizing yield limiting soil factors with the aid of remote sensing and data mining techniques. **Precision Agriculture**, v. 16, p. 99-118, 2015.

## **3 ARTIGO II**

# **ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO ASSOCIADOS AO POTENCIAL PRODUTIVO DAS CULTURAS EM UMA ÁREA COM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

### **3.1 Resumo**

A identificação dos fatores limitantes ao rendimento de grãos têm sido um dos grandes objetos de estudo relacionados à agricultura de precisão (AP). Neste sentido, o trabalho teve por objetivo identificar atributos químicos e físicos do solo associados ao potencial de rendimento de grãos das culturas em uma área agrícola manejada com agricultura de precisão. O trabalho foi conduzido em uma área agrícola com 117,70 hectares, localizada no município de Boa Vista das Missões – RS. A partir de mapas de colheita foram definidas zonas de alto, médio e baixo potencial produtivo. Em cada uma destas zonas foram georreferenciados pontos amostrais para a coleta e análise físico-químicas do solo. Em cada ponto amostral, foram procedidas coletas de solo para a quantificação de atributos químicos ( $\text{pH}_{\text{água}}$ , fósforo, potássio, cálcio, magnésio, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, soma de bases, saturação por bases e relação cálcio/magnésio) em oito profundidades, e físicos do solo (argila, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade do solo e água disponível) em cinco profundidades. Buscando ranquear a correspondência dos atributos químicos e físicos com as zonas de rendimento de grãos, os atributos foram analisados por meio da estatística descritiva e submetidos à análise multivariada de componentes principais (ACP). Cada atributo e sua respectiva profundidade foram considerados como variáveis independentes, totalizando assim 113 variáveis, sendo 80 químicas e 33 físicas. A ACP evidenciou que a prioridade de intervenção sobre atributos químicos na área é: calagem, fertilização fosfatada e fertilização potássica. A matéria orgânica e os teores de argila também estiveram relacionados ao rendimento de grãos, justificando a implantação de práticas de cultivo diferenciadas para cada zona de manejo.

**Palavras-chave:** Mapas de colheita. Componentes principais. Fertilidade do solo. Física do solo. Zonas de manejo.

### 3.2 Abstract

The identification of the limiting factors to grain yield have been one of the great objects of study related to precision agriculture (PA). In this sense, the objective of this work was to identify chemical and physical soil attributes associated with yield potential of crops in agricultural area managed with precision agriculture. The work was conducted in a agricultural area with 117.70 hectares, located in the municipality of Boa Vista das Missões - RS. Using yield maps were defined zones with high, medium and low yield potential. In each of these zones were georeferenced sampling points for the collection and analysis physico-chemical of soil. At each sample point, have been collected of soil samples for the determination of chemical attributes (pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, organic matter, cation exchange capacity, sum of bases, base saturation and relation calcium/magnesium) in eight depths, and soil physical attributes (clay, soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity and soil available water) in five depths. Seeking to rank the correspondence of the chemical and physical attributes with grain yield zones, the attributes were analyzed using descriptive statistic and subjected to multivariate principal component analysis (PCA). Each attribute and its respective depth were considered as independent variables, totaling 113 variables, 80 chemical and 33 physical. The PCA showed that the order for chemical intervention in the area is: liming, phosphorus fertilization and potassium fertilization. The organic matter and clay content were also related to grain yield, justifying the deployment of different farming practices for each management zones.

**Keywords:** Yield maps. Principal components. Soil fertility. Soil physics. Management zones.

### 3.3 Introdução

O conhecimento espacial e temporal de atributos químicos e físicos do solo em áreas de produção agrícola têm sido um dos pressupostos básicos da agricultura de precisão (AP) (SANTI, 2007; AMADO e SANTI, 2011; LUCHIARI JR. et al., 2011). Para a investigação detalhada destes fatores, tem sido comumente utilizada no Brasil a amostragem de solo em malhas regulares (CHERUBIN et al., 2014), as quais são prosseguidas das intervenções em



caráter variável (GIRARDELO et al., 2011; EITELWEIN, 2013). No entanto, quando tais intervenções são associadas ao rendimento de grãos das culturas, benefícios temporários (GIRARDELLO et al., 2011) ou insuficientes têm sido observados (SOUZA, et al., 2010; CERRI e MAGALHÃES, 2012), levando a frustração por parte dos produtores (SANTI et al., 2012a) em relação as concretas contribuições da AP. Estas constatações são de extrema importância e indicam que a elucidação da variabilidade espacial da produtividade a partir de atributos físicos e químicos do solo é bastante complexa (SANTI, 2007). Segundo Reichert et al., (2003) e Vezzani e Mielniczuk, (2009) o solo apresenta-se como um sistema altamente dinâmico, o que dificulta o estabelecimento das relações ao longo das safras (CERRI e MAGALHÃES, 2012; RODRIGUES et al., 2012).

Não obstante, existe um grande número de variáveis complementares, as quais são capazes de limitar o rendimento de grãos. Segundo Meurer (2007) estas variáveis compreendem mais de uma centena. Buscando elucidar esta magnitude Dampney e Moore (1999) dividiram os fatores causadores da variabilidade produtiva das culturas em três categorias, sendo: fatores fixos e de difícil alteração (altitude, tipo de solo, textura e profundidade do perfil); fatores persistentes, mas passíveis de alteração (características químicas e físicas do solo) e fatores sazonais (condições climáticas, ataque de pragas e doenças).

Com o propósito de buscar maiores explicações sobre a real influência dos atributos de solo, passíveis de serem governados, sobre o rendimento de grãos em áreas agrícolas e procurando contornar a estrutura espacial diferenciada existente entre atributos (RODRIGUES et al., 2012, CHERUBIN et al., 2014), métodos alternativos para a investigação têm sido propostos em áreas manejadas com AP. Santi et al. (2007) e Eitelwein (2013) sugerem que para áreas com histórico de mapas de colheita e onde averiguado que os fatores sazonais não modificam em alto grau a variabilidade espacial e temporal do rendimento de grãos (zonas estáveis) uma amostragem inteligente, ou seja, sistematizada de acordo com cada zona potencial, pode torna-la economicamente viável e tecnicamente eficiente, bem como, ser capaz de elucidar possíveis variáveis explicativas (AMADO e SANTI, 2010; WANG et al., 2012).

Uma amostragem direcionada pode ser capaz de proporcionar a coleta de um maior número de informação que podem, em um segundo momento, serem reduzidas por meio de critérios objetivos como, por exemplo, o seu grau de contribuição sobre o rendimento de grãos (CHERUBIN et al., 2011). Esta premissa, no entanto, é dificultada quando as interpretações dos resultados são realizadas somente por métodos estatístico univariados

(SILVA et al., 2010) mas pode ser melhor atendida quando associada a uma análise estatística multivariada.

Neste sentido, a análise de componentes principais (ACP), tem sido uma das mais usuais e consiste em uma técnica de análise exploratória que proporciona que um conjunto de variáveis independentes seja utilizado como variáveis indicadoras ou explicativas em relação a uma variável original (GOMES et al., 2004; VALLADARES et al., 2008; CHERUBIN et al., 2011; SANTI et al., 2012a). A ACP proporciona, portanto a simplificação dos dados por meio da redução do número de variáveis necessárias para descrever um fator. Essas variáveis são chamadas de componentes principais (MOROCO, 2003). Santi et al. (2012a) ao estudar 32 variáveis químicas e 31 variáveis físicas do solo em zonas de produtividade, foi capaz de reduzir este conjunto de variáveis utilizando a ACP e concluir que o desbalanço de bases e a baixa infiltração de água no solo, respectivamente, foram os que mais limitaram a produtividade de grãos.

Neste sentido, em áreas que já evoluíram no uso das ferramentas de AP e que apresentam zonas de rendimento de grãos consistentes e bem definidas, a amostragem de solo sistemática e associada à coleta de um maior número de informações podem se apresentar como ferramentas para o entendimento da variação espacial do rendimento de grãos das culturas. Esta caracterização detalhada pode ser capaz de indicar intervenções pontuais e de sinalizar para a necessidade de trabalhos futuros em zonas de manejo.

Buscando orientar intervenções eficientes e que maximizem o rendimento de grãos, o trabalho teve por objetivo realizar uma amostragem sistemática do solo e utilizar a análise de componentes principais para identificar atributos químicos e físicos do solo associados ao potencial produtivo das culturas; nortear intervenções químicas e físicas na área de estudo e definir a necessidade ou não de se trabalhar em zonas de manejo.

### **3.4 Material e Métodos**

O trabalho foi realizado em uma área agrícola comercial localizada no município de Boa Vista das Missões – RS e situada entre as coordenadas geográficas de 27°42'39" e 27°43'37" de latitude sul e 53°19'46" e 53°21'07" de longitude oeste. A área experimental possui 117,70 hectares e o seu relevo característico é do tipo suave ondulado. O solo local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006), de textura

argilosa e a classificação climática do local segundo MALUF (2000) é do tipo subtropical com primavera úmida (STPU) apresentando temperatura média anual de 18,1°C e precipitação pluvial anual média de 1.919 mm. A área experimental vem sendo conduzida em sistema plantio direto (SPD) sem interrupção há 20 anos, e seguindo um plano de rotação de culturas pré-estabelecido com cultivos intercalados de aveia branca, aveia preta, trigo e nabo forrageiro durante o inverno e soja e milho durante o verão.

O histórico de intervenções químicas nas áreas experimentais e seus respectivos cultivos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Histórico dos cultivos, práticas de adubação e correção realizadas na área experimental.

Ano	Período	Cultura	Adubação (NPK)	Quantidade	Aplicação
2008	Inverno	Aveia Preta	**	**	**
	Verão	Milho	11.52.00	180 kg ha <sup>-1</sup>	Linha
			00.00.60	100 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço
			30.00.20	280 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço
2009	Inverno	Aveia Branca	11.52.00	120 kg ha <sup>-1</sup>	Linha
	Verão	Soja	45.00.00	100 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço
2010	Inverno	Aveia Branca	02.25.15	300 kg ha <sup>-1</sup>	Linha
	Verão	Soja	05.20.20	90 kg ha <sup>-1</sup>	Linha
			11.52.00	155 kg ha <sup>-1</sup>	Linha
			00.00.60	100 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço
2011	Inverno	Aveia Preta	**	**	**
	Verão	Soja	18.46.00	120 kg ha <sup>-1</sup>	Linha
00.00.60			100 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço	
2012	Inverno	Aveia Branca	**	**	**
	Verão	Milho	18.46.00	140 kg ha <sup>-1</sup>	Linha
			00.00.60	130 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço
			45.00.00	200 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço
2013	Inverno	Nabo	**	**	**
		Trigo	18.46.00	110 kg ha <sup>-1</sup>	Linha
			00.00.60	100 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço
			45.00.00	200 kg ha <sup>-1</sup>	Lanço

\*\* Sem Adubação

Fonte: Dados cedidos pelo proprietário da área.

A partir de 2008, todas as culturas implantadas na área experimental foram monitoradas especialmente quanto o seu rendimento de grãos por meio de uma colhedora marca CASE® modelo Axial-Flow 2399, contendo o sistema de agricultura de precisão AFS® (Advanced Farming System), o que permitiu acumular uma séria histórica de mapas de colheita. Estes mapas foram utilizados como base do estudo, onde a partir dos mesmos foram delineadas zonas com diferentes potenciais produtivos.

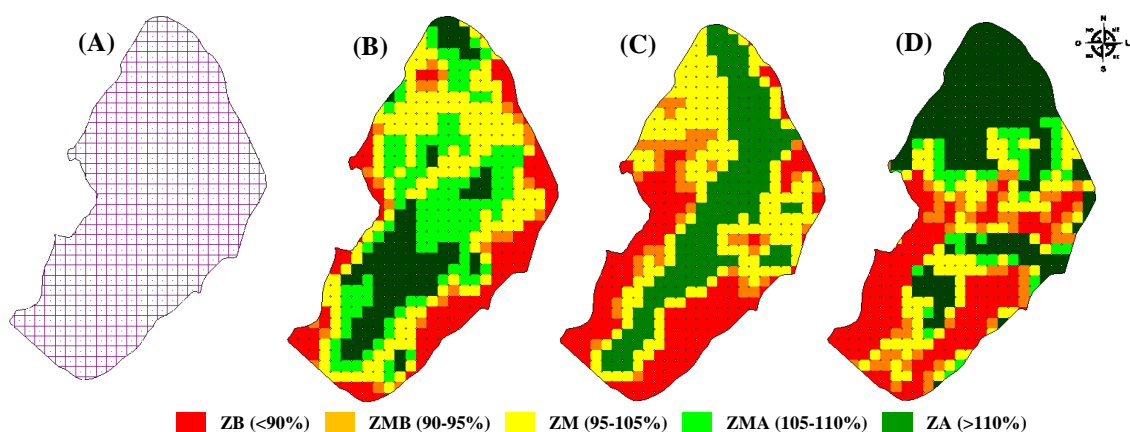
Em virtude de alguns mapas temáticos estarem incompletos por problemas de armazenamento de dados, foram selecionados apenas os mapas que continham um banco de dados completo. Os mapas de colheita selecionados e seus respectivos anos safra estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2** – Mapas de colheita utilizados para a área experimental.

Cultura	Ano agrícola*	Evento de colheita
Milho	2008/09	Milho/09
Aveia Branca	2009	Aveia/09
Milho	2012/13	Milho/13

\* Refere-se ao ano em que a cultura foi semeada e posteriormente colhida.

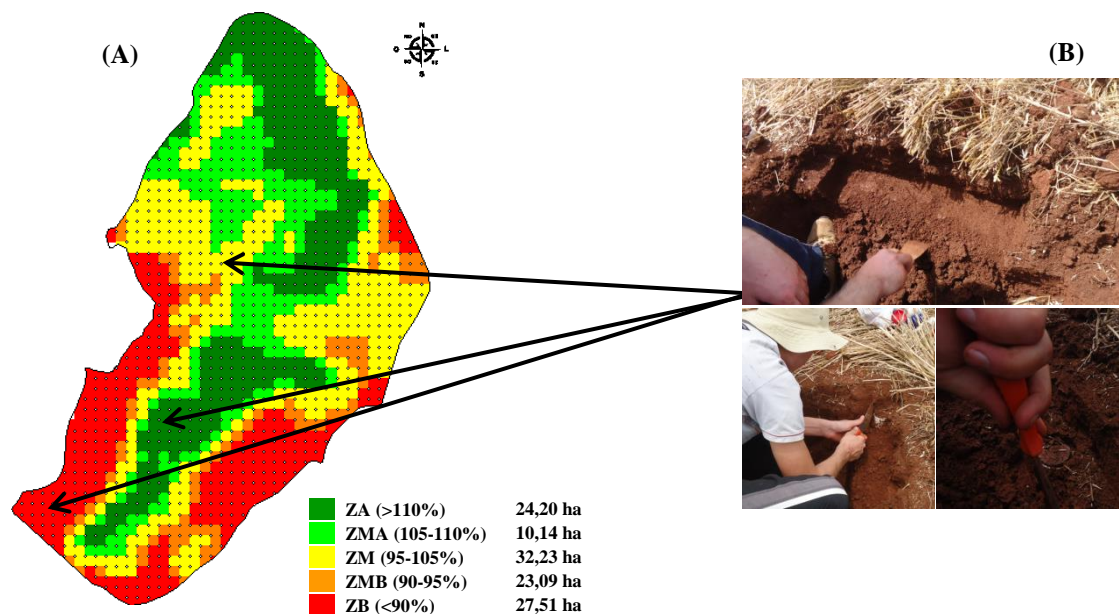
Apesar da consistência evidenciada nos mapas temáticos, os mesmos foram submetidos ao processo de filtragem com o intuito de eliminar possíveis erros na coleta dos dados durante a colheita (SANTI et al., 2013). A filtragem foi realizada através do programa CR - Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007). Para que todos os mapas ficassem com o mesmo número de células, a fim de tornar possível a análise conjunta, cada mapa de colheita foi sobreposto em uma malha amostral quadriculada de 0,25 ha (50x50 m) (Figura 1).



**Figura 1** – Detalhe da malha quadriculada utilizada para a padronização dos dados de rendimento de grãos (A) e os respectivos mapas relativizados dos eventos de colheita de Milho/09 (B), Aveia branca/09 (C) e Milho/13 (D).

Por meio da malha amostral, em um raio de pesquisa de 50 metros (a partir do ponto central), eliminaram-se os pontos com coeficiente de variação (CV%) superior a 30% (SHIRATSUCHI et al., 2005). As zonas de produtividade foram classificadas da seguinte forma: zona de alto potencial (ZA): > 110% em relação à média; zona de médio-alto potencial (ZMA): 105 a 110%; zona de médio potencial (ZM): 95 a 105%; zona de médio-baixo potencial (ZMB): 90 a 95% e zona de baixo potencial (ZB): < 90% em relação à média (Figura 1).

Seguindo a mesma classificação proposta para as zonas de rendimento de grãos, os mapas de colheita de Aveia/09, Milho/09 e Milho/13 foram sobrepostos em único mapa, gerando a média de rendimento de grãos relativo das três safras. Nas ZA, ZM e ZB foram então selecionados e georreferenciados pontos amostrais, os quais estavam vinculados a respectivas células dos mapas de rendimento relativo de grãos. Em cada ponto georreferenciado, foram abertas trincheiras para a coleta de solo e a quantificação de atributos químicos e físicos (Figura 2). As coletas foram realizadas durante o mês de novembro de 2013 (após a cultura do trigo e antecedendo a cultura da soja) quando a área se encontrava em pousio. Os pontos de coleta foram alocados em função do rendimento relativo de grãos para cada safra.



**Figura 2** – Distribuição espacial das zonas de potencial produtivo na área experimental a partir da sobreposição dos mapas de colheita de três diferentes safras (A) e detalhe da forma de coleta dos atributos químicos e físicos do solo (B).

Para a quantificação dos atributos químicos, o solo foi coletado em oito diferentes profundidades: 0,00 - 0,05; 0,05 - 0,10; 0,10 - 0,15; 0,15 - 0,20; 0,20 - 0,25; 0,25 - 0,30; 0,30 - 0,35 e 0,35 - 0,40 m. Os atributos químicos do solo avaliados foram:  $\text{pH}_{\text{água}}$ , fósforo (P,  $\text{mg dm}^{-3}$ ), potássio (K,  $\text{mg dm}^{-3}$ ), matéria orgânica (MO, %), cálcio (Ca,  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), magnésio (Mg,  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), soma de bases ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), capacidade de troca de cátions (CTC,  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); saturação por bases (V, %) e a relação cálcio/magnésio (Ca/Mg); conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995).

Para a quantificação dos atributos físicos do solo, procedeu-se a coleta de amostras indeformadas do solo utilizando anéis volumétricos de PVC com 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro. As amostras foram coletadas em cinco diferentes profundidades, correspondentes às camadas de 0 - 0,05; 0,05 - 0,10; 0,10 - 0,15; 0,15 - 0,20; 0,20 - 0,25 m. Posteriormente foram quantificados os parâmetros: densidade do solo ( $D_s$ ,  $\text{kg m}^{-3}$ ), pelo método do anel volumétrico; porosidade total (Pt,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), pela porcentagem de saturação de água do solo; macroporosidade (Macro,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e a microporosidade do solo (Micro,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). Além disso, quantificou-se o teor de água disponível (AD,  $\text{g g}^{-1}$ ), obtido pela diferença entre a umidade na capacidade de campo (CC,  $\text{g g}^{-1}$ ) (-6 kPa) e no ponto de murcha permanente (PMP,  $\text{g g}^{-1}$ ) (-1500 kPa) os quais foram determinados a partir das metodologias propostas por Embrapa (1997) e Klein et al. (2010), respectivamente. A argila (%) foi quantificada através do método descrito por Tedesco et al. (1995) e seguiu as mesmas profundidades de coleta dos atributos químicos do solo. As coletas foram procedidas em três trincheiras por zona com três sub-repetições em cada trincheira.

Com a finalidade de caracterizar a variação horizontal e vertical dos atributos no solo, os mesmos foram analisados por meio da estatística descritiva, extraindo-se as medidas de posição (mínimo, média e máximo) e dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação). Posteriormente, buscando elucidar quais os atributos que mais apresentavam correspondência em diferenciar as zonas de rendimento, os atributos químicos e físicos do solo foram submetidos à análise multivariada de componentes principais (ACP). Para tal, cada atributo e sua respectiva profundidade de coleta foram considerados como variáveis independentes, totalizando assim 113 variáveis, sendo 80 químicas e 33 físicas. A análise foi realizada em caráter distinto para os atributos químicos e físicos do solo, extraindo-se o atributo (químico e físico) com maior escore dentro de cada componente. Os componentes foram ranqueados em função do seu grau de explicação sobre a variância dos rendimentos (COELHO, 2003), sendo considerados como altamente significativos os atributos com escores  $>0,70$ . A ACP foi

procedida por meio do programa computacional *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS).

### 3.5 Resultados e discussão

A média do rendimento de grãos obtido em cada zona ao longo das três safras evidenciou variação entre as ZA, ZM e ZB delimitadas no estudo (Tabela 3). A média de rendimento de grãos da cultura da aveia/09 foi de 1.912,30 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que a ZB apresentou rendimento de grãos de 1.373,94 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto ZM e ZA apresentaram um rendimento de grãos de 1.871,31 e 2.359,26 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em função do baixo rendimento de grãos da cultura da aveia observado na ZB e da superioridade da ZA, foi possível distinguir estatisticamente as zonas com diferentes potenciais na área de estudo, utilizando apenas um mapa de colheita. No entanto, esta hipótese não deve ser considerada para a definição de zonas de manejo, uma vez que as safras agrícolas, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, estão sujeitas a intempéries climáticas, o que pode modificar a sua dinâmica espacial (CUNHA et al., 2001; BERLATO e FONTANA, 2003). Santi (2007) constatou em seus estudos a necessidade de se utilizem mapas de no mínimo três safras para a distinção de zonas de alta, média e baixa de produtividade. Contudo, o autor utilizou para o primeiro ano, mapas de colheita da cultura da soja e não de aveia branca, como utilizado neste trabalho.

A ZB delimitada para a cultura do milho/09 apresentou rendimento de grãos muito abaixo da média em relação à respectiva safra, que foi de 6.380,10 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 3). O rendimento de grãos observado neste local foi de 3.146,76 kg ha<sup>-1</sup> o que correspondeu a 49,32%, e adveio em virtude das baixas precipitações pluviais observadas durante o ciclo da cultura. A ZM apresentou rendimento de grãos de 6.365,75 kg ha<sup>-1</sup> enquanto a ZA atingiu 7.417,60 kg ha<sup>-1</sup>. Para a cultura do Milho/09 as zonas também diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3). Para a safra de Milho/13 a mesma tendência entre as zonas foi observada, porém com menor amplitude, onde a ZB apresentou um rendimento de grãos de 83,51% em relação à média enquanto que a ZM e a ZA apresentaram rendimento de grãos de 102,65% e 115,37%, respectivamente (Tabela 3).

Na média das três safras consideradas, ZB, ZM e ZA foram caracterizadas por rendimento de grãos de 68,23%, 100,09% e 118,33% (Tabela 3), justificando que a

metodologia empregada foi capaz de revelar locais que realmente apresentam baixo, médio ou alto potencial produtivo, os quais cumulativamente ao longo das três safras foram de 10.761,10, 15.908,06, 18.398,16 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes resultados demonstraram que as ZM tenderam a se aproximar mais das ZA. Esta constatação para a área de estudo é de extrema importância, e indica que quando forem delineados manejos diferenciados por ambiente, como critério de decisão para apenas dois manejos, a ZM poderá receber um manejo mais análogo ao da ZA.

**Tabela 3** – Rendimento de grãos (líquido, relativo e acumulado) obtidos a partir do georreferenciamento de pontos nas diferentes zonas potenciais para as três safras estudadas.

Local**	Culturas / Rendimento de grãos / Rendimento relativo							
	- Aveia branca/09 -		----- Milho/09 -----		----- Milho/13 -----		Média (%)	Acumulado (kg ha <sup>-1</sup> )
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%) <sup>(1)</sup>	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)		
ZB1	1.385,61	72,46	2.816,13	44,14	6.333,01	84,75	67,11	10.534,75
ZB2	1.501,47	78,52	2.849,03	44,50	6.156,07	82,38	68,52	10.506,57
ZB3	1.234,75	64,57	3.775,11	59,17	6.232,12	83,40	69,05	11.241,98
<b>Média ZB</b>	1.373,94 c *	71,85	3.146,76 c	49,32	6.240,40 c	83,51	68,23 c	10.761,10 c
ZM1	1.808,16	94,55	6.239,02	97,79	7.633,96	102,16	98,17	15.681,14
ZM2	1.854,88	97,00	6.226,12	97,59	7.688,03	102,88	99,15	15.769,03
ZM3	1.950,90	102,02	6.632,12	103,95	7.690,99	102,92	102,96	16.274,01
<b>Média ZM</b>	1.871,31 b	97,86	6.365,75 b	99,78	7.670,99 b	102,65	100,09 b	15.908,06 b
ZA1	2.263,43	118,36	7.461,02	116,94	8.282,00	110,83	115,38	18.006,45
ZA2	2.501,38	130,80	7.578,88	118,79	8.702,89	116,46	122,02	18.783,15
ZA3	2.312,96	120,95	7.212,90	113,05	8.879,03	118,82	117,61	18.404,89
<b>Média ZA</b>	2.359,26 a	123,37	7.417,60 a	116,26	8.621,31 a	115,37	118,33 a	18.398,16 a
CV (%)	6,09		6,34		2,46		2,62	2,51

<sup>(1)</sup> Rendimento relativo calculado em relação à média de rendimento de grãos da área, sendo: Aveia 2009= 1.912,30 kg ha<sup>-1</sup>; Milho 2009= 6.380,10 kg ha<sup>-1</sup> e Milho 2013 = 7.472,80 kg ha<sup>-1</sup>.

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

\*\* ZB = > 90%; ZM= 95 – 105 %; ZA= > 110%.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos a partir da análise da estatística descritiva das variáveis químicas do solo: MO, P e K. De maneira geral todas as variáveis apresentaram redução dos seus teores com o aumento da profundidade amostrada (Tabela 4). Este resultado já é esperado em áreas de cultivo manejadas sob sistema plantio direto (SPD),



onde as adubações em superfície, principalmente de P e K resultam na formação de um gradiente de fertilidade (SCHLINDWEIN e ANGHINONI, 2000; SCHLINDWEIN e ANGHINONI, 2002), o que no caso do P, também é condicionado pela sua baixa mobilidade e concentração natural nos Latossolos (SCHLINDWEIN, 2003; AMADO et al., 2010).

Desta forma, o manejo da adubação atualmente utilizado em áreas de produção agrícola, acaba naturalmente contribuindo para o aumento da variabilidade vertical dos nutrientes (WEIRICH NETO et al., 2006). A variação vertical nos níveis de P e K observados na área de estudo também pode ser atribuída ao manejo da adubação empregado (Tabela 1). Em todas as safras de verão entre 2008 a 2013, foram aplicados na linha de semeadura fertilizantes formulados contendo altos teores de P (Tabela 1), enquanto que formulações com altos teores de K foram realizadas a lanço (em superfície) para os anos agrícolas de 2008, 2010, 2011, 2012 e 2013 (Tabela 1). Tal manejo pode ter contribuído para a maior concentração destes nutrientes na superfície do solo (0,00 – 0,05 m) e a forma de aplicação a lanço, portanto, justifica a variabilidade vertical obtida para o K (Tabela 4). Atualmente, adubações em superfície para K, tanto em taxa fixa ou variada (manejo utilizando na AP) têm sido práticas comuns e eficientes no estado do Rio Grande do Sul.

A maior variabilidade vertical do P além de ser atribuída as suas maiores concentrações na camada de 0,00 – 0,15 m, resultado das adubações realizadas na linha de semeadura, pode estar associada a sua baixa mobilidade, que ocorre especialmente em solos de textura argilosa e que apresentam alto poder tamponante, como os Latossolos. Nesses solos, ocorre de forma mais intensa o fenômeno de adsorção específica, em que o P fica fortemente retido aos óxidos (ferro e alumínio) e argilominerais presentes no solo (SCHLINDWEIN, 2003; ACQUA et al., 2013; SANTI et al., 2013). Este fato tem gerado discordâncias quanto à viabilidade da aplicação de P a lanço, e ratifica que tal prática requer cautela (SANTI et al., 2013). Amado et al. (2010) afirmam que a aplicação de P na linha deve ser preconizada quando o teor de P no solo for baixo. O K por sua vez, apresenta maior mobilidade no solo, contudo esta intensidade vai depender do tipo, da frequência, da forma e da quantidade de fertilizante aplicado (ACQUA et al., 2013). Estes resultados sugerem que em áreas com histórico de fertilização a lanço, amostragens de solo sejam procedidas também em camadas mais profundas, uma vez que amostragens muito superficiais podem superestimar os teores de P e K.

Segundo Acqua et al. (2013) P e K são variáveis químicas do solo que apresentam elevadas proporções de variabilidade, fato que também já foi constatado por outros autores (CORÁ et al., 2004; SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2010; SANTI, et al., 2012b) e

evidenciado no presente estudo também no sentido horizontal. P e K apresentaram elevados valores de CV em todas as profundidades avaliadas (Tabela 4). Estes resultados concordam com o que já foi reportado por outros autores, de que a dinâmica espacial da fertilidade é uma função específica de cada nutriente (AMADO et al., 2009; GONTIJO et al., 2012) e de que para P e K os resultados são ainda mais variáveis (AMADO et al., 2010; SANTI, et al., 2012b).

Com base nisso Cherubin et al. (2014), estudando a eficiência das malhas amostrais utilizadas para a coleta de solo Latossolos no Rio Grande do Sul, concluíram que a micro variabilidade espacial de P e K deve ser considerada em planos de amostragem, especialmente em caracterizações químicas iniciais. Para isso, se faz necessário a utilização de malhas menores do que as atualmente empregadas em AP. Estes resultados também reforçam que a amostragem de solo tradicional (utilizando a média como valor referência) não é capaz de representar a realidade das áreas agrícolas.

**Tabela 4** – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO, %), fósforo (P, mg dm<sup>-3</sup>) e potássio (K, mg dm<sup>-3</sup>) obtidos na área de estudo.

Atributo químico do solo	Parâmetro estatístico				
	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
Matéria orgânica (0,00 – 0,05 m)	3,61	3,10	4,30	0,47	12,92
Matéria orgânica (0,05 – 0,10 m)	2,91	2,58	3,46	0,30	10,40
Matéria orgânica (0,10 – 0,15 m)	2,69	2,38	3,44	0,35	12,96
Matéria orgânica (0,15 – 0,20 m)	2,41	2,14	3,02	0,28	11,54
Matéria orgânica (0,20 – 0,25 m)	2,16	1,71	2,91	0,35	16,04
Matéria orgânica (0,25 – 0,30 m)	2,08	1,71	2,92	0,41	19,57
Matéria orgânica (0,30 – 0,35 m)	1,96	1,65	2,56	0,33	17,02
Matéria orgânica (0,35 – 0,40 m)	1,85	1,54	2,43	0,32	17,28
Fósforo (0,00 – 0,05 m)	38,65	21,87	88,85	20,64	53,40
Fósforo (0,05 – 0,10 m)	13,18	4,97	28,84	8,46	64,19
Fósforo (0,10 – 0,15 m)	6,75	2,11	21,87	6,25	92,63
Fósforo (0,15 – 0,20 m)	3,42	1,58	8,56	2,49	72,83
Fósforo (0,20 – 0,25 m)	2,20	0,74	5,60	1,93	87,72
Fósforo (0,25 – 0,30 m)	1,40	0,53	3,59	0,99	71,13
Fósforo (0,30 – 0,35 m)	0,99	0,53	1,80	0,42	42,52
Fósforo (0,35 – 0,40 m)	0,90	0,53	1,37	0,32	35,60
Potássio (0,00 – 0,05 m)	131,67	90,00	190,00	34,64	26,31
Potássio (0,05 – 0,10 m)	61,11	25,00	105,00	26,78	43,83
Potássio (0,10 – 0,15 m)	30,00	10,00	65,00	18,71	62,36
Potássio (0,15 – 0,20 m)	13,33	5,00	35,00	9,68	72,62
Potássio (0,20 – 0,25 m)	8,44	0,50	25,00	7,36	87,19
Potássio (0,25 – 0,30 m)	4,11	0,50	15,00	4,66	113,40
Potássio (0,30 – 0,35 m)	3,56	0,50	10,00	3,30	92,87
Potássio (0,35 – 0,40 m)	2,50	0,50	5,00	2,37	94,87

<sup>(1)</sup> DP, desvio-padrão; <sup>(2)</sup> Coeficiente de variação.

A MO manteve a mesma tendência de variabilidade vertical, o que pode ser atribuído também ao manejo empregado na área por meio do SPD, que condicionou a um grande

acúmulo de palhada na superfície a partir da utilização de cultivos intercalados de gramíneas e leguminosas. Em virtude dos restos culturais não serem incorporados e do baixo de revolvimento do solo, maiores percentuais de MO foram observados nas camadas superficiais. Maiores valores de CV foram observados para a MO em camadas profundas, o que sugere diferenças no perfil ao longo dos locais avaliados. Estas diferenças em camadas mais profundas indicam a necessidade de se incluir nos planos de rotação de culturas espécies com sistema radicular profundo, como guandú, crotalárias e o próprio nabo forrageiro visando incrementar esses teores em subsuperfície e melhorar a estrutura do solo.

A variabilidade vertical da MO é uma provável causa da variabilidade no rendimento de grãos (AMADO et. al., 2004). Conforme apresentado na Tabela 4, foram obtidos locais com 2,92%, 2,56% e 2,43% de matéria orgânica nas respectivas camadas de 0,25 – 0,30; 0,30 – 0,35 e 0,35 – 0,40 m, respectivamente. Estes teores se equivalem muitas vezes aos encontrados em áreas de produção agrícolas em camada superficiais (<0,20 m) (SANTI, 2007).

Os valores de  $\text{pH}_{\text{água}}$  obtidos na área de estudo a partir da amostragem estratificada, sugerem que os teores estão muito próximos dos limites mínimos prescritos pela CQFS-RS/SC (2004), indicando que a prática de calagem será uma necessidade futura na área de estudo, obviamente que se atendidos todos os critérios estabelecidos para tal (CQFS-RS/SC, 2004) (Tabela 5). A prática de calagem foi realizada pela última vez na área de estudo no ano de 2009 e cabe salientar que uma amostragem realizada em malhas regulares de 1,0 ha, para a profundidade de 0,00 – 0,15m no ano de 2011, não revelou a necessidade de tal intervenção, o que indica que no ano de 2011, possivelmente ainda refletiam os benefícios da calagem realizada em 2009. Considerando-se a profundidade de 0,00 – 0,15 m tem-se um valor de médio de  $\text{pH}_{\text{água}}$  de 5,56, muito próximo do limite crítico para o SPD (CQFS-RS/SC, 2004), enquanto que o valor mínimo foi de 5,25.

Os menores teores de  $\text{pH}_{\text{água}}$  observados na camada superficial (0,00 – 0,10 m) em relação à camada subsuperficial (0,10 – 0,25 m) podem estar sendo influenciados pelas práticas de adubação utilizadas na área (Tabela 5). Segundo Caires et al. (2002) e Lopes et al. (2002) a utilização em grande escala de fertilizantes amoniacais e ureia resulta em liberação de íons  $\text{H}^+$  durante a sua transformação pelos micro-organismos do solo. Na área de estudo, entre os anos de 2008 a 2013 todos os cultivos de verão receberam adubações com fertilizantes amoniacais (MAP, mono-amônio-fosfato) e para os anos de 2012 e 2013 as culturas de milho e trigo receberam adubação a lanço a base de ureia (Tabela 1), o que justifica a maior reacidificação na superfície do solo.

**Tabela 5** – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo: pH<sub>água</sub>, magnésio (Mg, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), cálcio (Ca, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), soma de bases (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), capacidade de troca de cátions (CTC, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), saturação por bases (V, %) e da relação cálcio/magnésio (Ca/Mg) obtidos na área de estudo.

Atributo químico do solo	Parâmetro estatístico				
	Média	Mínimo	Máximo	DP <sup>(1)</sup>	CV (%) <sup>(2)</sup>
pH água (0,00 – 0,05 m)	5,46	5,07	5,65	0,18	3,24
pH água (0,05 – 0,10 m)	5,57	5,30	5,85	0,18	3,24
pH água (0,10 – 0,15 m)	5,67	5,38	6,19	0,27	4,74
pH água (0,15 – 0,20 m)	5,73	5,29	6,29	0,34	5,96
pH água (0,20 – 0,25 m)	5,68	5,04	6,35	0,44	7,68
pH água (0,25 – 0,30 m)	5,58	4,94	6,33	0,47	8,42
pH água (0,30 – 0,35 m)	5,44	4,87	6,34	0,51	9,31
pH água (0,35 – 0,40 m)	5,33	4,90	6,20	0,47	8,81
Magnésio (0,00 – 0,05 m)	3,32	2,80	3,80	0,29	8,75
Magnésio (0,05 – 0,10 m)	3,12	2,60	3,60	0,32	10,35
Magnésio (0,10 – 0,15 m)	3,17	2,80	3,80	0,36	11,39
Magnésio (0,15 – 0,20 m)	3,11	2,40	3,90	0,43	13,68
Magnésio (0,20 – 0,25 m)	2,86	1,90	3,60	0,55	19,19
Magnésio (0,25 – 0,30 m)	2,63	1,60	3,40	0,57	21,57
Magnésio (0,30 – 0,35 m)	2,42	1,50	3,40	0,62	25,68
Magnésio (0,35 – 0,40 m)	2,21	1,40	3,20	0,63	28,37
Cálcio (0,00 – 0,05 m)	6,89	5,90	8,10	0,76	11,09
Cálcio (0,05 – 0,10 m)	6,07	5,30	7,60	0,80	13,24
Cálcio (0,10 – 0,15 m)	5,98	4,90	7,50	0,84	14,07
Cálcio (0,15 – 0,20 m)	5,63	4,40	6,90	0,87	15,42
Cálcio (0,20 – 0,25 m)	4,71	3,10	6,20	1,14	24,21
Cálcio (0,25 – 0,30 m)	4,00	2,60	5,40	1,05	26,13
Cálcio (0,30 – 0,35 m)	3,37	2,30	5,20	1,04	31,01
Cálcio (0,35 – 0,40 m)	2,80	2,00	4,60	0,95	34,02
Soma de bases (0,00 – 0,05 m)	10,44	9,43	12,08	0,96	9,13
Soma de bases (0,05 – 0,10 m)	9,34	8,22	11,26	1,02	11,01
Soma de bases (0,10 – 0,15 m)	9,22	8,05	11,23	1,11	12,12
Soma de bases (0,15 – 0,20 m)	8,77	6,82	10,83	1,25	14,33
Soma de bases (0,20 – 0,25 m)	7,58	5,01	9,72	1,66	21,98
Soma de bases (0,25 – 0,30 m)	6,64	4,20	8,61	1,58	23,79
Soma de bases (0,30 – 0,35 m)	5,79	3,81	8,50	1,63	28,24
Soma de bases (0,35 – 0,40 m)	5,01	3,41	7,80	1,55	31,06
CTC <sup>(3)</sup> (0,00 – 0,05 m)	16,06	14,21	16,79	0,82	5,08
CTC (0,05 – 0,10 m)	14,74	14,08	15,62	0,58	3,92
CTC (0,10 – 0,15 m)	13,99	13,10	15,09	0,68	4,89
CTC (0,15 – 0,20 m)	13,45	12,31	15,42	0,96	7,15
CTC (0,20 – 0,25 m)	12,53	11,25	14,85	1,09	8,72
CTC (0,25 – 0,30 m)	12,01	10,57	14,52	1,54	12,84
CTC (0,30 – 0,35 m)	11,99	10,81	13,92	1,02	8,49
CTC (0,35 – 0,40 m)	11,85	10,66	14,22	1,31	11,09
Saturação por bases (0,00 – 0,05 m)	65,66	56,94	72,58	4,55	6,93
Saturação por bases (0,05 – 0,10 m)	63,42	52,66	73,46	6,64	10,48
Saturação por bases (0,10 – 0,15 m)	65,95	56,82	79,01	7,28	11,04
Saturação por bases (0,15 – 0,20 m)	65,40	49,72	77,42	9,27	14,18
Saturação por bases (0,20 – 0,25 m)	60,83	37,40	76,92	13,41	22,05
Saturação por bases (0,25 – 0,30 m)	56,44	28,94	74,26	15,31	27,13
Saturação por bases (0,30 – 0,35 m)	49,18	28,60	73,57	16,02	32,58
Saturação por bases (0,35 – 0,40 m)	43,44	24,01	68,99	16,06	36,96
Relação Ca/Mg (0,00 – 0,05 m)	2,08	1,79	2,48	0,23	11,24
Relação Ca/Mg (0,05 – 0,10 m)	1,95	1,71	2,23	0,19	9,94
Relação Ca/Mg (0,10 – 0,15 m)	1,89	1,58	2,24	0,20	10,37
Relação Ca/Mg (0,15 – 0,20 m)	1,81	1,67	2,13	0,14	7,74
Relação Ca/Mg (0,20 – 0,25 m)	1,64	1,50	1,94	0,15	8,88
Relação Ca/Mg (0,25 – 0,30 m)	1,52	1,32	1,80	0,17	10,89
Relação Ca/Mg (0,30 – 0,35 m)	1,39	1,15	1,58	0,16	11,67
Relação Ca/Mg (0,35 – 0,40 m)	1,26	1,04	1,44	0,15	11,76

<sup>(1)</sup> DP, desvio-padrão; <sup>(2)</sup> CV, coeficiente de variação; <sup>(3)</sup> CTC<sub>pH 7,0</sub>, capacidade de troca de cátions.

Uma maior atenção em relação à prática da calagem também é justificada em função da porcentagem das cargas negativas do solo neutralizadas por cátions de reação básica, expressa pela saturação de bases, onde os valores observados para a camada superficial estão muito próximos do limite estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004), que como critério de decisão associado à prática da calagem é de 65%.

Segundo a CQFS-RS/SC (2004), em média os solos do Rio Grande do Sul com saturação de bases de 65%, 80% e 85% obedecem aos valores de  $\text{pH}_{\text{água}}$  de 5,5, 6,0 e 6,5, respectivamente, o que corrobora com os resultados obtidos neste estudo. Com o aumento da profundidade de amostragem, também se elevaram os valores de CV para  $\text{pH}_{\text{água}}$  e saturação de bases (Tabela 5).

Os valores de Ca foram classificados como médios e altos, enquanto que para Mg, independente da profundidade amostrada, os teores foram classificados como altos (CQFS-RS/SC, 2004). Os teores de Mg podem ter sido favorecidos pela utilização de calcário dolomítico na área, o que possivelmente contribuiu para a obtenção de uma relação Ca/Mg entre 1,26 a 2,08 (Tabela 5). Segundo Silva et al. (2012) a utilização de corretivos que fornecem relações inadequadas de Ca e Mg podem acarretar em desequilíbrios nutricionais ou até mesmo a deficiência destes nutrientes.

Resultados concretos em relação ao efeito das relações Ca/Mg sobre o rendimento de grãos ainda são pouco explorados na literatura, uma vez que estão relacionados a fatores intrínsecos locais, como o nível de cada nutriente no solo e a cultura. Segundo dados da CQFS-RS/SC (2004) para o estado do Rio Grande do sul, em geral a relação Ca/Mg do solo varia entre 1 e 5, e não interfere no rendimento de grãos quando ambos os nutrientes estão em níveis de suficiência. Sabe-se, no entanto que existe uma competição entre Ca, Mg e K pelos mesmos sítios de adsorção no solo e de absorção pelas raízes (MEDEIROS et al., 2008). Em função disso, trabalhos tem revelado que elevadas concentrações de Ca trocável no solo tendem a diminuir a absorção de magnésio e potássio pelas plantas de milho (MEDEIROS et al., 2008). A relação inversa também é verdadeira (SANTI, 2007) e pode gerar variabilidade no rendimento de grãos. O Ca obteve elevados valores de CV em camadas mais profundas (0,20 – 0,40 m) o que pode indicar uma variação entre as zonas de rendimento de grãos. Esta mesma tendência foi observada para o Mg (Tabela 5).

Os níveis de Ca, Mg e K na camada superficial contribuíram para os valores de CTC, no entanto, apesar do decréscimo da CTC ao longo do perfil avaliado, este foi menos proporcional comparativamente aos de Ca, Mg e K, indicando a presença de cátions ácidos ( $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ ) nas camadas profundas.

Dentre os atributos físicos avaliados, a argila apresentou variação entre os locais amostrados e para todas as profundidades avaliadas (Tabela 6).

**Tabela 6** – Estatística descritiva dos atributos físicos do solo argila (%), porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), densidade do solo ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e água disponível ( $\text{g g}^{-1}$ ) obtidos na área de estudo.

Atributo químico do solo	Parâmetro estatístico				
	Média	Mínimo	Máximo	DP <sup>(1)</sup>	CV (%) <sup>(2)</sup>
Argila (0,00 – 0,05 m)	56,22	40,00	68,00	9,40	16,73
Argila (0,05 – 0,10 m)	69,56	54,00	80,00	8,22	11,81
Argila (0,10 – 0,15 m)	73,78	58,00	86,00	7,81	10,58
Argila (0,15 – 0,20 m)	74,22	65,00	80,00	6,06	8,16
Argila (0,20 – 0,25 m)	77,33	70,00	86,00	5,32	6,87
Argila (0,25 – 0,30 m)	78,11	71,00	84,00	4,88	6,25
Argila (0,30 – 0,35 m)	79,89	70,00	89,00	6,74	8,43
Argila (0,35 – 0,40 m)	78,89	60,00	89,00	8,49	10,76
Porosidade total (0,00 – 0,05 m)	0,53	0,49	0,57	0,03	5,15
Porosidade total (0,05 – 0,10 m)	0,48	0,45	0,49	0,01	2,80
Porosidade total (0,10 – 0,15 m)	0,48	0,44	0,50	0,02	4,35
Porosidade total (0,15 – 0,20 m)	0,50	0,47	0,52	0,02	3,32
Porosidade total (0,20 – 0,25 m)	0,52	0,50	0,55	0,02	3,32
Microporosidade (0,00 – 0,05 m)	0,38	0,35	0,41	0,02	5,75
Microporosidade (0,05 – 0,10 m)	0,38	0,35	0,39	0,01	3,78
Microporosidade (0,10 – 0,15 m)	0,39	0,36	0,40	0,01	3,07
Microporosidade (0,15 – 0,20 m)	0,41	0,40	0,41	0,01	1,48
Microporosidade (0,20 – 0,25 m)	0,42	0,40	0,44	0,01	2,12
Macroporosidade (0,00 – 0,05 m)	0,15	0,09	0,22	0,05	30,65
Macroporosidade (0,05 – 0,10 m)	0,10	0,09	0,11	0,01	7,36
Macroporosidade (0,10 – 0,15 m)	0,09	0,06	0,11	0,02	21,23
Macroporosidade (0,15 – 0,20 m)	0,09	0,06	0,11	0,02	19,15
Macroporosidade (0,20 – 0,25 m)	0,10	0,07	0,13	0,02	17,92
Densidade (0,00 – 0,05 m)	1,17	1,06	1,25	0,08	6,48
Densidade (0,05 – 0,10 m)	1,30	1,25	1,35	0,03	2,54
Densidade (0,10 – 0,15 m)	1,32	1,24	1,41	0,05	3,55
Densidade (0,15 – 0,20 m)	1,28	1,22	1,41	0,07	5,41
Densidade (0,20 – 0,25 m)	1,24	1,18	1,30	0,05	3,69
Água disponível (0,00 – 0,05 m)	0,15	0,11	0,19	0,03	18,78
Água disponível (0,05 – 0,10 m)	0,07	0,04	0,12	0,03	42,02
Água disponível (0,10 – 0,15 m)	0,06	0,02	0,11	0,02	40,12
Água disponível (0,15 – 0,20 m)	0,09	0,04	0,12	0,03	37,41
Água disponível (0,20 – 0,25 m)	0,10	0,06	0,13	0,02	23,45

<sup>(1)</sup> DP, desvio-padrão; <sup>(2)</sup> CV, coeficiente de variação.

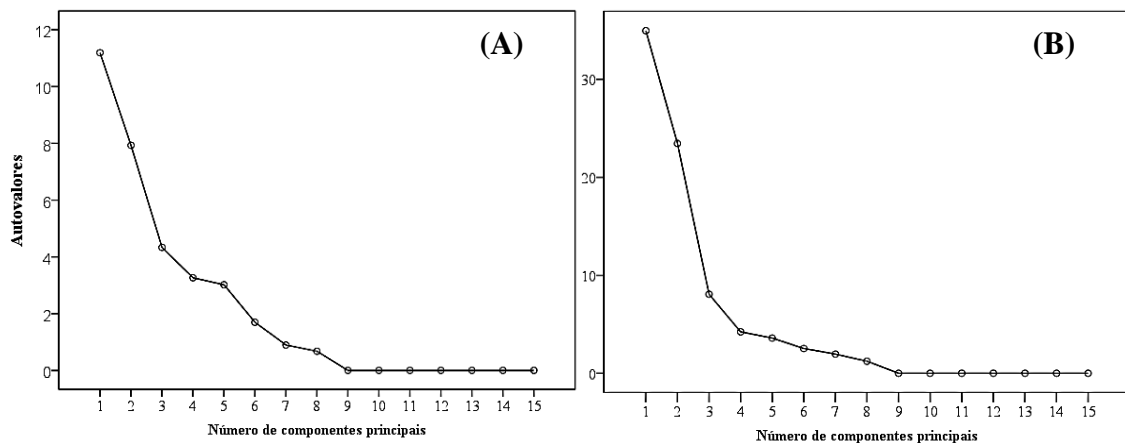
A argila, como um dos componentes texturais do solo, é considerada em relação ao rendimento de grãos das culturas, como um fator de difícil alteração e interferência antrópica (DAMPNEY e MOORE, 1999) e por isso, locais dentro de uma mesma área de produção que apresentam diferentes classes texturais, necessitam receber manejos diferenciados, para que se garantam rendimentos de grãos uniforme e estáveis. Isso se deve ao fato da textura apresentar influência direta sobre vários outros atributos do solo, tanto químicos (VALLADARES et al.,

2003; CQFS-RS/SC, 2004, CONCEIÇÃO et al., 2005; BRAIDA et al., 2006; WERLE, et al., 2008, NEVES et al., 2009) quanto físicos (KLEIN e LIBARDI, 2000; BRAIDA et al., 2006; KLEIN et al., 2006; KITAMURA et al., 2007; STRECK et al., 2008; KLEIN et al., 2010).

A maior Ds foi obtida entre as camadas de 0,05 – 0,20 m, contudo os valores máximos foram obtidos para a camada de 0,10 – 0,20 m (Tabela 6), como uma função do manejo tradicionalmente empregado no SPD (VEIGA et al., 2008; DRESCHER et al., 2011), onde as camadas revolvidas durante a semeadura são apenas superficiais. A superfície é também o local onde se concentram grande parte do sistema radicular das plantas, o que reduz a Ds. Os maiores valores de Ds observados para as camadas de 0,10 – 0,20 m culminaram em menores valores de água disponível, além de aumento nos percentuais de microporos e redução nos de macroporos. A porosidade total foi menor na camada de 0,05 – 0,15 m (Tabela 6).

A análise da estatística descritiva foi capaz de indicar atributos com maior variação entre os locais avaliados, contudo a partir da ACP foi possível a geração de variáveis explicativas, capazes de atribuir diferença entre as zonas de rendimento de grãos.

Na Figura 3 é apresentado o número de componentes principais com autovalores superior a 1, os quais apresentam contribuição em explicar a variação entre as zonas de rendimento de grãos.



**Figura 3** – Representação gráfica do número de componentes principais necessários para explicar a variância do rendimento de grãos, utilizando atributos químicos (A) e físicos (B), em função do peso atribuído por cada componente aos autovalores.

Os resultados indicam que para explicar a variância em sua totalidade, seria necessário utilizar 9 componentes (Figura 3), contudo isso resulta em uma complexa interação entre fatores, tornando difícil a interpretação dos resultados e a tomada de decisão. Neste sentido,

em estudos envolvendo caracteres agronômicos têm se buscado utilizar o número de componentes necessários para explicar a maior parte da variância, geralmente não ultrapassando cinco componentes. Para o presente estudo a mudança no sentido da curva indica que três componentes, tanto para atributos físicos quanto para atributos químicos já seriam capazes de explicar grande parte da variância, uma vez que apresentam elevados pesos para seus autovalores (Figura 3).

A ACP realizada a partir dos atributos químicos, avaliados nas zonas de rendimento de grãos evidenciou que o primeiro componente principal foi capaz de explicar 43,69% da variância (Tabela 7). Estes dados diferem dos obtidos por Cherubin et al. (2011) e Santi et al. (2012a), que estudando a relação de atributos químicos com a produtividade das culturas através da ACP, conseguiram explicar 86,68% e 53,83%, respectivamente. A menor variância explicada pelo primeiro componente está relacionada ao número de variáveis utilizadas, que para o presente estudo foi de 80, enquanto Cherubin et al (2011) trabalharam com 12 variáveis e Santi et al. (2012) com 32 variáveis. A menor variância para o primeiro componente, também remete a existência de um elevado autovalor para um segundo componente.

As variáveis explicativas existentes no primeiro componente e com escore superior a 0,70 estiveram intimamente relacionadas ao  $\text{pH}_{\text{água}}$  e as bases trocáveis Ca e Mg, as quais por estarem correlacionadas a soma e a saturação por bases tornaram-nas também variáveis explicativas. Estes resultados podem estar indicando que de alguma maneira o  $\text{pH}_{\text{água}}$  e saturação de base estão contribuindo para a diferenciação das zonas de rendimento. Pontelli (2006) observou o decréscimo no rendimento de grãos em locais com elevado pH do solo, concluindo que valores muito acima dos preconizados pela CQFS-RS/SC (2004) podem penalizar o rendimento de grãos. Os maiores escores obtidos para estes componentes foram observados com o aumento da profundidade avaliada (Tabela 7).

Como parte do segundo componente principal capaz de explicar 29,31% da variância estiveram a MO (em todas as profundidades), o P e a CTC. A relação Ca/Mg também surgiu como contribuinte, no entanto, é possivelmente uma função dos efeitos secundário dos teores de Ca e Mg, que representam a grande parte da CTC. Segundo a CQFS-RS/SC (2004) a relação Ca/Mg do solo não interfere no rendimento de grãos quando ambos os nutrientes estão acima dos níveis críticos. Santi et al. (2012a) também observou escores altamente significativos para Ca, Mg e  $\text{pH}_{\text{água}}$ , contudo estes representaram apenas 5,35% de explicação sobre a variância.



**Tabela 7** – Análise de componentes principais dos atributos químicos do solo amostradas na área de estudo. (continua)

Componente da variância	Componente principal				
	1	2	3	4	5
Autovalores	34,95	23,45	8,07	4,22	3,59
% da variância explicada	43,69	29,31	10,08	5,528	4,49
% da variância explicada acumulada	43,69	73,00	83,09	88,37	92,87
<b>Atributo químico</b>	----- Matriz de correlação -----				
Matéria orgânica (0,00 – 0,05 m)	-0,566	<b>0,735</b>	0,078	0,300	-0,023
Matéria orgânica (0,05 – 0,10 m)	-0,508	<b>0,793</b>	-0,016	0,055	-0,198
Matéria orgânica (0,10 – 0,15 m)	-0,172	<b>0,901</b>	0,117	0,056	-0,073
Matéria orgânica (0,15 – 0,20 m)	-0,508	<b>0,690</b>	0,382	0,144	-0,237
Matéria orgânica (0,20 – 0,25 m)	-0,302	<b>0,852</b>	0,171	0,046	-0,196
Matéria orgânica (0,25 – 0,30 m)	-0,402	<b>0,880</b>	0,164	0,003	0,004
Matéria orgânica (0,30 – 0,35 m)	-0,561	<b>0,805</b>	0,104	0,055	0,027
Matéria orgânica (0,35 – 0,40 m)	-0,468	<b>0,864</b>	0,089	0,042	0,104
Fósforo (0,00 – 0,05 m)	0,133	<b>0,801</b>	0,317	-0,395	-0,180
Fósforo (0,05 – 0,10 m)	-0,102	0,497	0,378	-0,684	-0,229
Fósforo (0,10 – 0,15 m)	-0,221	<b>0,741</b>	0,424	-0,429	-0,183
Fósforo (0,15 – 0,20 m)	-0,329	<b>0,757</b>	0,268	-0,407	0,002
Fósforo (0,20 – 0,25 m)	-0,448	<b>0,744</b>	0,180	-0,263	0,149
Fósforo (0,25 – 0,30 m)	-0,439	<b>0,746</b>	0,308	-0,165	-0,107
Fósforo (0,30 – 0,35 m)	-0,654	0,372	0,061	-0,098	0,184
Fósforo (0,35 – 0,40 m)	-0,141	0,395	-0,180	-0,021	0,214
Potássio (0,00 – 0,05 m)	-0,160	0,438	0,687	0,175	0,236
Potássio (0,05 – 0,10 m)	-0,038	-0,286	<b>0,828</b>	0,331	0,201
Potássio (0,10 – 0,15 m)	0,086	-0,411	0,655	0,433	0,351
Potássio (0,15 – 0,20 m)	0,075	-0,206	<b>0,812</b>	0,288	0,434
Potássio (0,20 – 0,25 m)	0,309	-0,245	<b>0,792</b>	-0,149	0,388
Potássio (0,25 – 0,30 m)	0,268	-0,318	<b>0,841</b>	-0,053	0,271
Potássio (0,30 – 0,35 m)	0,077	-0,046	<b>0,700</b>	-0,412	0,486
Potássio (0,35 – 0,40 m)	0,056	-0,278	0,240	-0,482	0,552
pH água (0,00 – 0,05 m)	0,394	-0,134	0,207	0,418	-0,701
pH água (0,05 – 0,10 m)	<b>0,926*</b>	0,129	-0,218	0,094	-0,149
pH água (0,10 – 0,15 m)	<b>0,914</b>	0,077	-0,264	0,112	0,175
pH água (0,15 – 0,20 m)	<b>0,977</b>	-0,005	-0,057	0,017	0,169
pH água (0,20 – 0,25 m)	<b>0,990</b>	0,007	0,052	-0,102	0,027
pH água (0,30 – 0,35 m)	<b>0,957*</b>	0,154	-0,165	-0,001	0,116
pH água (0,35 – 0,40 m)	<b>0,914</b>	0,208	-0,231	0,073	0,199
Magnésio (0,00 – 0,05 m)	<b>0,714</b>	-0,011	0,571	0,250	-0,163
Magnésio (0,05 – 0,10 m)	<b>0,924</b>	-0,074	-0,031	-0,079	-0,150
Magnésio (0,10 – 0,15 m)	<b>0,917</b>	-0,048	-0,303	0,071	0,148
Magnésio (0,15 – 0,20 m)	<b>0,937</b>	-0,026	0,126	0,143	-0,005
Magnésio (0,20 – 0,25 m)	<b>0,943</b>	0,095	0,236	-0,093	-0,162
Magnésio (0,25 – 0,30 m)	<b>0,938</b>	0,120	0,259	-0,085	-0,133
Magnésio (0,30 – 0,35 m)	<b>0,991</b>	0,084	-0,020	0,023	0,080
Magnésio (0,35 – 0,40 m)	<b>0,973</b>	0,157	-0,081	0,039	0,136
Cálcio (0,00 – 0,05 m)	0,105	<b>0,744</b>	0,255	0,550	-0,101
Cálcio (0,05 – 0,10 m)	<b>0,670</b>	0,652	-0,242	-0,032	-0,036
Cálcio (0,10 – 0,15 m)	<b>0,667</b>	0,595	-0,272	0,216	0,210
Cálcio (0,15 – 0,20 m)	<b>0,836</b>	0,446	0,142	0,061	-0,053
Cálcio (0,20 – 0,25 m)	<b>0,849</b>	0,450	0,196	-0,120	-0,141
Cálcio (0,25 – 0,30 m)	<b>0,814</b>	0,518	0,176	-0,126	-0,087
Cálcio (0,30 – 0,35 m)	<b>0,890</b>	0,379	-0,196	-0,039	0,093
Cálcio (0,35 – 0,40 m)	<b>0,858</b>	0,370	-0,290	0,004	0,163
Soma de bases (0,00 – 0,05 m)	0,284	0,627	0,437	0,527	-0,107
Soma de bases (0,05 – 0,10 m)	<b>0,810</b>	0,467	-0,144	-0,028	-0,062
Soma de bases (0,10 – 0,15 m)	<b>0,801</b>	0,414	-0,274	0,204	0,221
Soma de bases (0,15 – 0,20 m)	<b>0,896</b>	0,295	0,157	0,096	-0,030
Soma de bases (0,20 – 0,25 m)	<b>0,894</b>	0,337	0,221	-0,114	-0,145
Soma de bases (0,25 – 0,30 m)	<b>0,878</b>	0,383	0,216	-0,114	-0,103
Soma de bases (0,30 – 0,35 m)	<b>0,944</b>	0,273	-0,129	-0,018	0,092

**Tabela 7** – Análise de componentes principais dos atributos químicos do solo amostradas na área de estudo (conclusão)

Soma de bases (0,35 – 0,40 m)	<b>0,916</b>	0,288	-0,209	0,016	0,157
CTC <sup>(3)</sup> (0,00 – 0,05 m)	-0,145	0,576	0,149	0,549	0,525
CTC (0,05 – 0,10 m)	-0,230	<b>0,797</b>	-0,231	-0,252	0,383
CTC (0,10 – 0,15 m)	-0,123	<b>0,758</b>	-0,200	0,341	0,154
CTC (0,15 – 0,20 m)	-0,178	<b>0,850</b>	0,239	0,081	-0,080
CTC (0,20 – 0,25 m)	-0,282	<b>0,882</b>	0,146	-0,209	-0,149
CTC (0,25 – 0,30 m)	-0,604	<b>0,762</b>	-0,081	-0,006	0,154
CTC (0,30 – 0,35 m)	<b>-0,762</b>	0,350	-0,325	0,341	0,023
CTC (0,35 – 0,40 m)	-0,832	0,324	-0,304	0,224	0,226
Saturação por bases (0,00 – 0,05 m)	0,458	0,393	0,455	0,278	-0,504
Saturação por bases (0,05 – 0,10 m)	<b>0,911</b>	0,191	-0,063	0,061	-0,191
Saturação por bases (0,10 – 0,15 m)	<b>0,903</b>	0,125	-0,215	0,096	0,171
Saturação por bases (0,15 – 0,20 m)	<b>0,979</b>	-0,118	0,029	0,058	0,014
Saturação por bases (0,20 – 0,25 m)	<b>0,978</b>	-0,020	0,146	-0,038	-0,047
Saturação por bases (0,25 – 0,30 m)	<b>0,967</b>	-0,021	0,182	-0,120	-0,077
Saturação por bases (0,30 – 0,35 m)	<b>0,975</b>	0,160	-0,053	-0,081	0,104
Saturação por bases (0,35 – 0,40 m)	<b>0,967</b>	0,170	-0,123	-0,040	0,114
Relação Ca/Mg (0,00 – 0,05 m)	-0,488	<b>0,733</b>	-0,207	0,365	0,066
Relação Ca/Mg (0,05 – 0,10 m)	-0,137	<b>0,940</b>	-0,277	0,038	0,114
Relação Ca/Mg (0,10 – 0,15 m)	-0,137	<b>0,901</b>	-0,001	0,229	0,109
Relação Ca/Mg (0,15 – 0,20 m)	0,006	<b>0,938</b>	0,075	-0,126	-0,078
Relação Ca/Mg (0,20 – 0,25 m)	0,262	<b>0,946</b>	0,032	-0,132	-0,020
Relação Ca/Mg (0,25 – 0,30 m)	0,016	<b>0,951</b>	-0,102	-0,159	0,138
Relação Ca/Mg (0,30 – 0,35 m)	0,018	<b>0,822</b>	-0,403	-0,189	0,136
Relação Ca/Mg (0,35 – 0,40 m)	-0,080	<b>0,701</b>	-0,574	-0,102	0,205

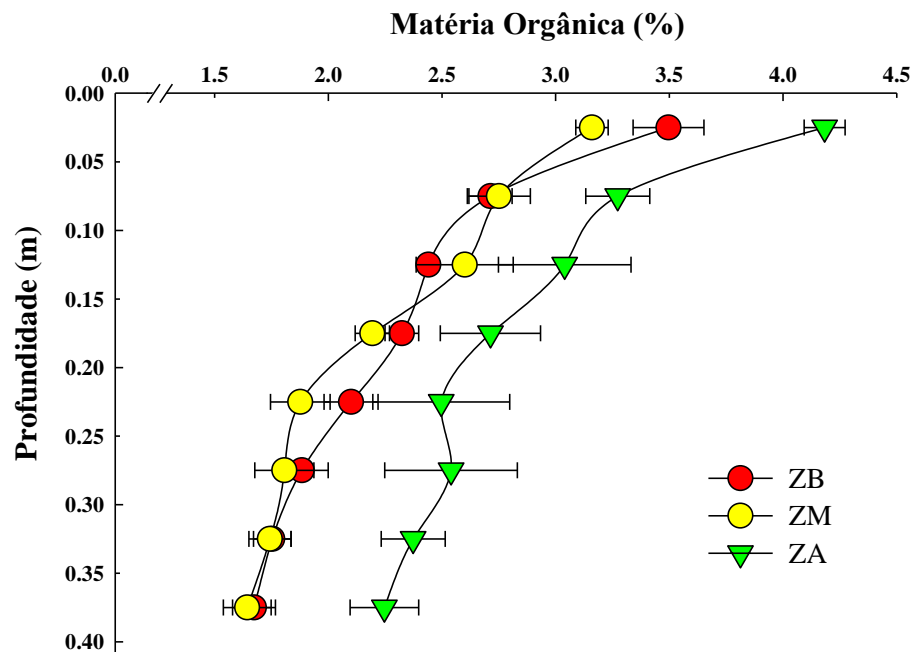
<sup>(3)</sup> CTC<sub>pH 7,0</sub>, capacidade de troca de cátions.

\* Valores destacados em negrito apresentam carga fatorial > 0,70 para o respectivo componente principal.

A MO como contribuinte para o segundo componente, merece ser considerada de forma apreciável, uma vez que seus teores são difíceis de serem elevados nas áreas de produção em um curto espaço de tempo, muito diferente dos atributos de acidez e bases relacionadas, que podem ser facilmente manejados a partir da prática de fertilização. Ou seja, grande parte dos atributos evidenciados pelo primeiro componente e parte do segundo componente, são passíveis de serem corrigidos em curto prazo em condições de campo, o que não ocorre com a MO, a qual é favorecida pelo manejo adequado do solo e pelo depósito de material vegetal ao longo das safras. Desta forma o manejo procedido no passado pode estar impactando atualmente no rendimento de grãos.

As médias nos teores de MO, obtidas nas diferentes zonas de rendimento de grãos e ao longo de todo o perfil avaliado confirmam tal hipótese (Figura 4) e revelam que a sua maior influência sobre a variância, decai sobre a zona de alto rendimento de grãos. Resultados semelhantes foram reportados por Amado et al. (2004), onde os autores salientam que a MO é um indicador sensível da qualidade do solo e que reflete diretamente sobre o rendimento de grãos (PONTELLI, 2006). Segundo Amado et al. (2010) a MO é a principal responsável pela CTC de solos tropicais e subtropicais e atua como um reservatório de vários nutrientes

essências as plantas, tendo a capacidade de supri-los de forma gradual e equilibrada. Desta forma, produtores que almejam altos rendimentos de grãos devem investir no aporte de MO nas áreas de cultivo. Esta premissa pode ser atendida por meio da adubação orgânica e de eficientes planos de rotação de culturas, utilizando plantas com sistema radicular profundo (AMADO et al., 2010; SANTI et al., 2014).



**Figura 4** – Distribuição vertical dos teores da matéria orgânica do solo obtidos na área de estudo e agrupados para as zonas de alto (ZA) médio (ZM) e baixo potencial de rendimento de grãos (ZB).

Barras horizontais indicam os desvios em relação à média.

O P também apresentou contribuição como variável explicativa para o segundo componente nas camadas de 0,00 – 0,30 m (Tabela 7). Eitelwein (2013) estudando parte desta mesma área, concluiu a partir de técnicas estatísticas não paramétricas que o P foi o atributo mais limitante para o rendimento de grãos de soja e milho.

O K apresentou altos escores apenas no terceiro componente, contribuindo para explicar 10,08% da variância do rendimento de grãos. Este fato pode estar atribuído às relações de concorrência existentes entre K, Ca, e Mg pelos sítios de adsorção no solo (MEDEIROS et al., 2008). Santi (2007) encontrou tendências semelhantes, porém inversas, com K representando o primeiro componente e Ca e Mg o terceiro. O autor atribuiu o resultado a possível carência de calagem, para a adição de Ca e Mg, ou a um possível

desbalanço de cátions no solo, em função de altas dosagens de K que vinham sendo aplicadas naquele local e também ao histórico de rotação de culturas utilizando nabo forrageiro. Para o presente estudo, os resultados contrários em relação a estes nutrientes podem estar indicando que as dosagens de K que vem sendo utilizadas ou a forma como a fertilização vem sendo procedida podem estar sendo ineficientes e da mesma forma estarem resultando em uma desproporcionalidade entre os cátions Ca, Mg e K no solo (SANTI, 2007; MEDEIROS et al., 2008).

Ernani et al. (2007) salientam que a fertilização com K em superfície não é capaz de limitar a potencial produtivo das culturas, uma vez que devido a sua mobilidade vertical (ERNANI et al., 200; AMADO et al., 2010), o nutriente estaria ao alcance de grande parte do sistema radicular. Segundo o autor as restrições ao rendimento de grãos podem ocorrer, no entanto, apenas quando os teores de K estiverem muito limitantes ao crescimento das plantas ou em locais onde a precipitação pluvial for baixa.

A ACP para os atributos físicos do solo é apresentada na Tabela 8. Conforme já reportando na Figura 3, haveria a necessidade de se considerar o efeito individual e combinatório de vários componentes para que fosse possível explicar grande parte da variância.

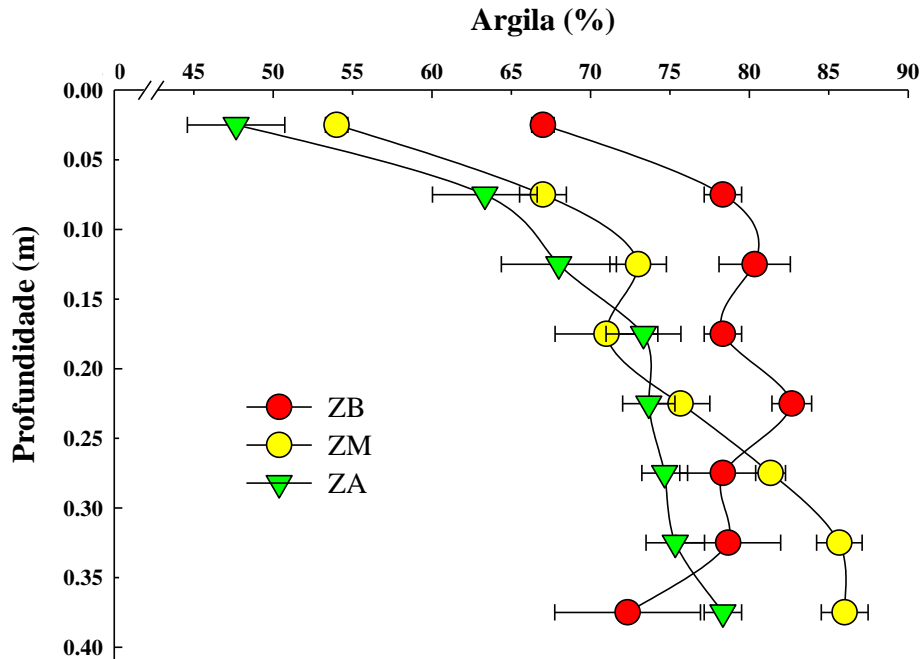
O primeiro componente principal foi capaz de explicar 33,92% da variância. Este primeiro componente foi representado pelos teores de argila nas respectivas camadas de 0,00 - 0,05; 0,05 - 0,10; 0,10 - 0,15 e 0,20 - 0,25m (Tabela 8), onde foram obtidos coeficientes negativos. Os coeficientes negativos são uma função da relação inversa entre os teores de argila e os de água disponível, variável que também compôs o primeiro componente com escores significativos para as camadas 0,00 - 0,05; 0,05 - 0,10; 0,10 - 0,15; 0,15 - 0,20 e 0,20 - 0,25m (Tabela 8). Segundo Guastaferrero et al. (2010) os padrões de rendimento de grãos das culturas estão altamente ligados a variação espacial da água disponível no solo.

**Tabela 8** – Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo amostradas na área de estudo.

Componente da variância	Componente principal				
	1	2	3	4	5
Autovalores	11,19	7,93	4,33	3,26	3,01
% da variância explicada	33,92	24,03	13,13	9,89	9,14
% da variância explicada acumulada	33,92	57,95	71,08	80,97	90,11
<b>Atributo químico</b>	----- Matriz de correlação -----				
Argila (0,00 – 0,05 m)	<b>-0,970*</b>	0,013	0,101	-0,042	0,109
Argila (0,05 – 0,10 m)	<b>-0,844</b>	-0,053	0,072	-0,109	0,469
Argila (0,10 – 0,15 m)	<b>-0,902</b>	0,204	-0,230	0,211	0,078
Argila (0,15 – 0,20 m)	-0,687	-0,301	0,048	0,414	-0,421
Argila (0,20 – 0,25 m)	<b>-0,727</b>	-0,154	0,589	0,134	0,158
Argila (0,25 – 0,30 m)	-0,075	0,162	-0,389	0,292	0,205
Argila (0,30 – 0,35 m)	-0,170	<b>0,893</b>	-0,169	-0,026	0,181
Argila (0,35 – 0,40 m)	0,275	<b>0,765</b>	-0,359	0,254	-0,053
Porosidade total (0,00 – 0,05 m)	0,603	-0,680	0,003	0,120	0,165
Porosidade total (0,05 – 0,10 m)	0,073	0,089	<b>0,949</b>	0,016	-0,263
Porosidade total (0,10 – 0,15 m)	0,356	0,108	-0,176	0,765	0,352
Porosidade total (0,15 – 0,20 m)	0,684	<b>0,709</b>	-0,051	0,057	0,041
Porosidade total (0,20 – 0,25 m)	0,162	0,632	0,499	0,472	0,233
Microporosidade (0,00 – 0,05 m)	<b>-0,776</b>	0,507	0,028	-0,034	0,075
Microporosidade (0,05 – 0,10 m)	-0,272	0,108	<b>0,772</b>	0,271	-0,480
Microporosidade (0,10 – 0,15 m)	0,438	<b>-0,721</b>	0,118	0,450	0,138
Microporosidade (0,15 – 0,20 m)	0,058	-0,065	<b>-0,735</b>	0,551	-0,037
Microporosidade (0,20 – 0,25 m)	-0,416	0,527	0,020	-0,113	-0,400
Macroporosidade (0,00 – 0,05 m)	<b>0,741</b>	-0,657	-0,012	0,089	0,063
Macroporosidade (0,05 – 0,10 m)	0,649	-0,045	0,228	-0,488	0,444
Macroporosidade (0,10 – 0,15 m)	0,114	0,576	-0,269	0,558	0,301
Macroporosidade (0,15 – 0,20 m)	0,641	<b>0,707</b>	0,210	-0,140	0,052
Macroporosidade (0,20 – 0,25 m)	0,369	0,351	0,478	0,519	0,430
Densidade (0,00 – 0,05 m)	-0,593	<b>0,786</b>	-0,011	-0,036	-0,087
Densidade (0,05 – 0,10 m)	-0,078	0,002	<b>0,733</b>	0,122	0,599
Densidade (0,10 – 0,15 m)	0,209	<b>-0,775</b>	0,066	0,289	-0,208
Densidade (0,15 – 0,20 m)	-0,627	-0,635	-0,073	0,396	0,002
Densidade (0,20 – 0,25 m)	-0,434	-0,519	-0,466	-0,377	0,379
Água disponível (0,00 – 0,05 m)	<b>0,925</b>	-0,253	-0,076	0,072	0,028
Água disponível (0,05 – 0,10 m)	0,627	0,084	0,048	0,164	<b>-0,730</b>
Água disponível (0,10 – 0,15 m)	<b>0,937</b>	-0,136	0,243	-0,163	0,070
Água disponível (0,15 – 0,20 m)	<b>0,739</b>	0,481	-0,096	-0,368	0,229
Água disponível (0,20 – 0,25 m)	0,630	0,554	-0,184	0,081	-0,425

\* Valores destacados em negrito apresentam carga fatorial > 0,70 para o respectivo componente principal.

Estes resultados indicam a existência de uma relação entre a textura do solo e o rendimento de grãos relativo das culturas. Streck et al. (2008) salientam que a textura apresenta-se como um atributo capaz de interferir na capacidade de retenção, na infiltração de água e na aeração do solo. Este fato pode estar explicando a maior amplitude entre as zonas de produtividade em anos com déficit hídrico, fato observado para a safra de milho/09 (Tabela 3) e já reportado no Artigo I. Estes resultados ganham ainda mais relevância ao se analisar os percentuais de argila ao longo do perfil do solo e em função das zonas de rendimento (Figura 5).



**Figura 5** – Distribuição vertical dos teores de argila (%) obtidos na área de estudo e agrupados para as zonas de alto (ZA) médio (ZM) e baixo potencial de rendimento (ZB). Barras horizontais indicam os desvios em relação à média.

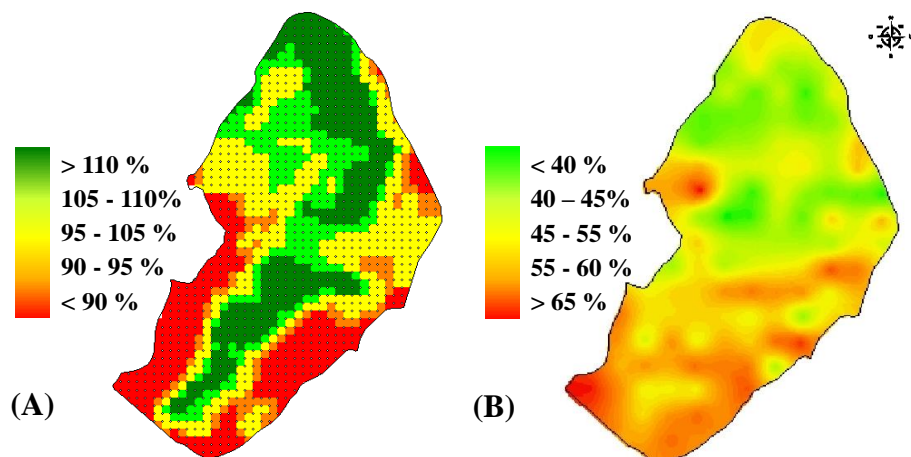
As diferenças obtidas entre as zonas para as camadas superficiais sugerem a ocorrência de deslocamento horizontal da argila de certos locais e consequente deposição em outros, como as ZB.

Segundo Klein e Libardi (2000) o tipo e a quantidade de argila são fatores que influenciam a disponibilidade de água para as culturas uma vez que atuam diretamente sobre as forças de retenção de água no solo, o que corrobora com os resultados obtidos, onde os teores de água disponível no solo também se apresentaram como variáveis explicativas ao potencial produtivo (Tabela 8). Klein et al (2010) salienta que existe uma relação direta entre os teores de argila no solo e o ponto de murcha permanente (PMP), momento em que as plantas perdem a capacidade de extrair água do solo, o que resulta em perdas de turgescência de suas folhas, sem a possibilidade de reversão (HILLEL, 1980; KLEIN et al., 2006).

Sabe-se também que os solos com maiores teores de argila apresentam-se com uma maior área superficial específica (ASE) comparativamente a solos arenosos, o que resulta em maior capacidade de retenção de cátions, maiores teores de matéria orgânica, bem como, maior adsorção de fósforo (SOUZA JUNIOR et al., 2007), este último, entendido como a

transferência de íons entre a solução e a fase sólida do solo, tornando-os menos solúveis ou até mesmo insolúveis (AQUINO, 2004, SANTI et al., 2013).

Segundo Souza Junior et al. (2007) grande parte da dinâmica dos atributos químicos e físicos dos solos estão relacionados com a superfície de reação com a qual reagem e por isso solo mais arenosos apresentam menor CTC, uma vez que estão mais propícios a perda de nutrientes (RAIJ, 1991). Esses solos necessitam se fertilizados com maior frequência e são característicos de grande parte da região de cerrado brasileiro (WERLE et al., 2008). Semelhanças entre o mapa de rendimento de grãos relativo e os teores de argila podem ser verificadas para a área de estudo na Figura 6.

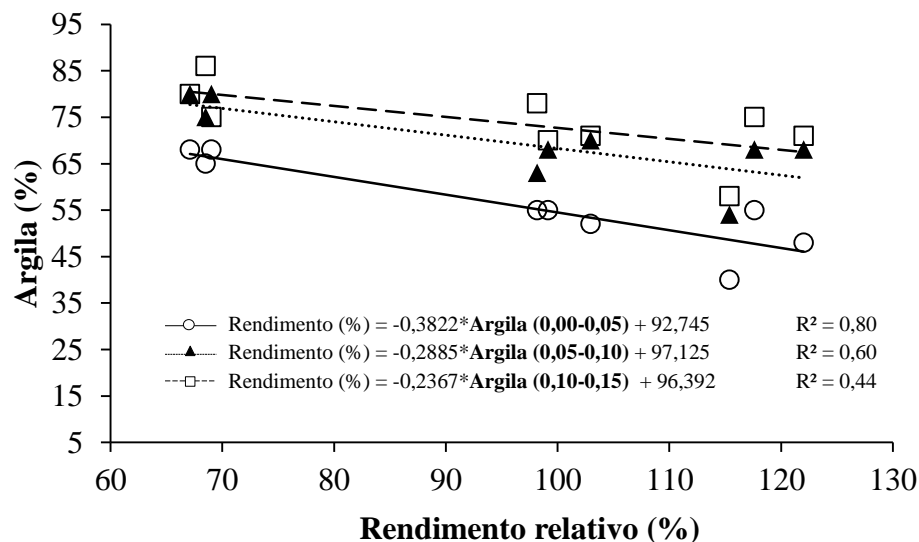


**Figura 6** – Mapas de distribuição espacial do rendimento de grãos relativo de três safras (A) e dos teores de argila (%), avaliados na profundidade de 0,00 – 0,15 m e utilizando uma malha amostral de 100 x 100 m (B), na área de estudo.

Fonte: Dados cedidos pelo proprietário da área e pelo LAP Sul.

Influências da textura sobre o rendimento de grãos também têm sido reportadas na literatura (PONTELLI, 2006; KITAMUTA et al., 2007; EITELWEIN, 2013). Eitelwein (2013) verificou relações negativas entre os teores de argila e a produtividade de soja e milho mesmo em anos com precipitações pluviárias satisfatórias. Resultados semelhantes também foram obtidos por Kitamura et al. (2007), que em trabalhos conduzidos em um Latossolo Vermelho distroférico típico com elevados teores de argila e manejado com sistema de irrigação, evidenciaram correlações negativas entre o teor de argila e a produtividade de feijoeiro.

Os resultados destes autores concordam com os obtidos neste trabalho, onde ao se analisar os rendimentos de grãos médios relativos das três safras em função dos teores de argila nas camadas superficiais, correlações negativas foram obtidas (Figura 7). Tais resultados confirmam o efeito significativo da textura do solo sobre o potencial produtivo das culturas (KLEIN et al., 2006; PONTELLI, 2006; KITAMURA et al., 2007; EITELWEIN, 2013) e reforçam a hipótese de que em áreas de produção agrícola, onde fatores de difícil manejo estejam interferindo no rendimento de grãos, tem-se a possibilidade de se optarem por diferentes manejos em cada zona da produção (SANTI et al., 2014).



**Figura 7** – Relação entre o rendimento de grãos médio relativo de três safras e os teores de argila (%) nas camadas de 0,00 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m e 0,10 – 0,15 m na área de estudo.

Estes resultados remetem, portanto, que em função da grande gama de equipamentos disponíveis para a coleta de um grande número de informações em um curto espaço de tempo, e devido à elevação do número de áreas irrigadas no sul do Brasil, é de suma importância que sejam procedidas caracterizações detalhadas em relação à textura do solo para que sejam delineados eficientes manejos, tanto para o uso racional da água quanto dos fertilizantes. Desta forma, o uso de sensores merece destaque. Atualmente existem sensores como, por exemplo, os de condutividade elétrica do solo, que apresentam correlações significativas com o percentual de argila e com a umidade no solo (MOLIN et al., 2005) e que por isso vem

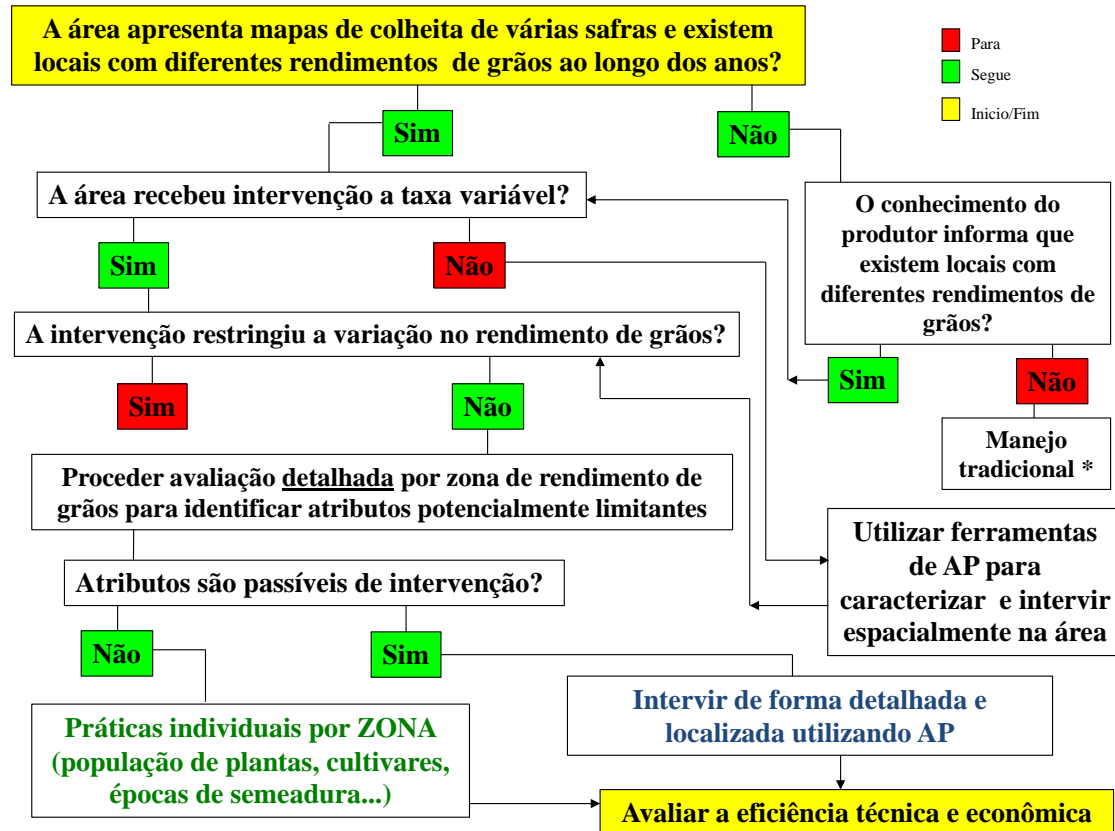


sendo usados com elevada frequência para o delineamento de zona de manejo, principalmente para a cultura do milho.

Os resultados obtidos neste trabalho revelaram a existência de variação tanto de atributos químicos quanto de atributos físicos entre as zonas de rendimento de grãos na área de estudo, e comprovaram que a utilização de ferramentas de AP é a forma mais correta e eficiente para o manejo dos mesmos em áreas agrícolas no sul do Brasil. Os resultados reforçam a hipótese de que mesmo em áreas eficientemente manejadas, variações no rendimento de grãos podem continuar ocorrendo, como um reflexo da necessidade de intervenções mais frequentes, em função da mudança na dinâmica dos atributos (altos rendimentos de grãos e elevada extração de nutrientes), ou como um resultado de fatores inerentes ao local, como por exemplo, a textura do solo.

Os resultados obtidos a partir da ACP revelaram a associação de vários fatores com o rendimento de grãos, muitos deles passíveis de serem manejados, enquanto outros se apresentaram como de difícil governabilidade. A existência de fatores de difícil intervenção química ou física sugere por si só, que para a maximização do rendimento de grãos das culturas, se faz necessário o emprego de técnicas diferenciadas para cada ambiente de produção, definidos a partir de uma série histórica de mapas de colheita e o do conhecimento espacial na área.

A agricultura por ambiente (HORBE et al., 2013; SANTI et al., 2014) surge, portanto como uma técnica necessária para áreas de produção agrícola que almejam alcançar altos tetos produtivos, dados os diversos benefícios já reportados por esta prática (SANTI, 2007; GIMENEZ, 2012; RIFFEL et al., 2012; HORBE et al., 2013; SANTI et al., 2014). É de fundamental importância a realização de estudos por ambiente de produção para as mais diferentes culturas, para que possam ser conduzidos manejos dirigidos em cada safra, aumentando assim, a possibilidade do sucesso na produção. Com base nisso, é apresentado na Figura 8 um fluxograma passível de ser utilizado como critério de decisão para a implantação de práticas de cultivo diferenciadas para cada zona de rendimento de grãos (zonas de manejo). Caso esta opção seja confirmada, se faz necessário procurar informações fidedignas que orientem o melhor manejo em função dos fatores limitantes e da respectiva cultura. Por fim é importante avaliar a real eficiência das intervenções, o que pode ser obtido a partir do uso de mapas de colheita.



**Figura 8** – Fluxograma alternativo para o critério de decisão quanto à utilização de práticas de cultivo diferenciadas para cada zona de rendimento de grãos (zonas de manejo) utilizando ferramentas de agricultura de precisão (AP).

### 3.6 Conclusões

A análise da estatística descritiva seguida da análise de componentes principais foi capaz de revelar variáveis explicativas para o rendimento de grãos a partir da amostragem sistemática do solo.

A prática de calagem mostrou-se como uma necessidade pontual, sendo que os atributos de acidez foram capazes de explicar grande parte da variância do rendimento de grãos.

A prioridade para intervenção em atributos químicos na área é: calagem, fertilização fosfatada e fertilização potássica.

A matéria orgânica e os teores de argila também estiveram relacionados, em grande parte, ao rendimento de grãos, contudo são mais difíceis de serem manejados.

A presença de variáveis explicativas de difícil manejo entre as zonas de rendimento de grãos, como a textura do solo, sugere a implantação de práticas de cultivo diferenciadas por zona de manejo.

### 3.7 Agradecimentos

Ao Sr. Eliseu José Schaedler e ao Sr. Carlos Eduardo Dauve, pela disponibilização da área para o estudo (Fazenda Vila Morena) e por todo o apoio, prestatividade, amizade e incentivo incondicional a pesquisa. A toda a equipe do Laboratório de Agricultura de Precisão – LAPSUL, pelo auxílio na realização deste trabalho. A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

### 3.8 Referências Bibliográficas

ACQUA, N. H. D.; SILVA, G. P.; BENITES, V. M.; ASSIS, R. L. de; SIMON, G. A. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 17, n. 2, p. 117–122, 2013.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.831-843, 2009.

AMADO, T. J. C., SANTI, A. L. **Using precision farming to overcome yield-limiting factors in Southern Brazil Oxisols: A case study**. In D. CLAY, J. SHANAHAN; J. FRANCIS PIERCE (Eds.), *GIS Applications in Agriculture—Nutrient Management for Improved Energy Efficiency*, v. 3. 3<sup>a</sup> ed., p. 31–60. CRC: Boca Raton, 2011.

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. (Ed.). *Soja: manejo para alta produtividade de grãos*. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.177-207.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; PONTELLI, C. B.; VEZZANI, F. Agricultura de Precisão como ferramenta de aprimoramento do manejo do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 60, p. 46-49, 2004.

AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. **Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto**. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Ed.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.35-112.

AQUINO, B. F. **Conceitos fundamentais em fertilidade do solo**. Fortaleza: UFC, 2004.182p. Apostilas Didáticas.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1011-1022, 2002.

CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p. 613-620, 2012.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; MENEGOL, D. R.; DA ROS, C. O.; PIAS, O. H. de C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3, p.425-432, 2014.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, R. F.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G. ; LIMA, J. M.; LOPES A. S.; ALVAREZ V., V. H. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 259-290, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CORÁ, 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**, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

CUNHA, G. R.; BARNI, N. A.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; PAZINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PIRES, J. L. F. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3 (número especial- Zoneamento Agrícola), p. 6-459, 2001.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers. In: 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 661-674.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1713-1722, 2011.

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) Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 393-402, 2007.

GIMENEZ, L. M. Resposta da soja em função da textura do solo na semeadura com população variada. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP/2012, Ribeirão Preto - SP, Brasil. **Anais...** Ribeirão Preto: ConBAP, 2012.

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.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2115-2126, 2011.

GOMES, J. B. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.137-153, 2004.

GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; SANTOS, E. O. J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 1093-1102, 2012.

GUASTAFERRO, F.; CASTRIGNANO, A.; DE BENEDETTO, D.; SOLLITTO, D.; TROCCOLI, A.; CAFARELLI, B. A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. **Precision Agriculture**, v. 11, p. 600–620, 2010.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 413p.

HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 450-465, 2013.

KITAMURA, A. E; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 361-369, 2007.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com o psicrômetro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**, v. 30; p. 959-964, 2000.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10; p. 646-650, 2006.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. – **Sistema Plantio Direto: Bases para o Manejo da Fertilidade do Solo**, ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos), São Paulo, 115 p., 2002.

LUCHIARI JR., A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; FREITAS, A. E. B.; BORTOLON, L.; OLIVEIRA, E. S.; UMMUS, M. E.; INAMASU, R. Y. Zonas de Manejo: teoria e prática. In: INAMASU, R. Y; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Org.). **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. 1ª ed. São Carlos - SP: Embrapa Instrumentação, v. 1, p. 60-64, 2011.

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

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONE, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ, V. H; BARROS, N. F; FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B, NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa – MG, p. 65-90, 2007.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.420-426, 2005.

MOROCO, J. **Análise Estatística com utilização do SPSS**, Lisboa: Sílabo, 2003.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 25-32, 2009.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 112p. (Dissertação de Mestrado).

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**. p. 29-48, 2003.

RIFFEL, C. T.; GARCIA, M. S.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, L. P.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T. Densidade amostral aplicada ao monitoramento georreferenciado de lagartas desfolhadoras na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2112-2119, 2012.

RODRIGUES, M. S.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Spatial relationships between soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 599-609, 2012.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1346-1357, 2012a.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; CHERUBIN, M. R.; CASTRO, D. M.; BISOGNIN, M. B. Adubação de base a lanço em pré-semeadura: Tendência na Agricultura de Precisão. **Campo & Negócios**, v. 128, p. 46-49, 2013.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, D. P. ; CASTRO, D. M. ; DELLA FLORA, L. P. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 137-138, p. 16-23, 2014.

SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; HAUSCHILD, F. E. G. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 109, p. 18-25, 2012b.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.



SHIRATSUCHI, L. S.; FACCIONI, G. C.; QUEIROS, L. R. **Classificação no supervisionada no delineamento de zonas de manejo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 16p. (Documentos, 150).

SCHLINDWEIN, J. A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto**. 2003. 169 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.32, p.963-968, 2002.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical do fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.30, p.611-617, 2000.

SILVA, G. R. da; SENA, W. L.; MATOS, G. S. B. de; FERNANDES, A. R.; GAMA, M. A. P. Crescimento e estado nutricional da soja influenciados pela relação Ca:Mg em solo do cerrado paraense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 1, p. 52-57, 2012.

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**, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2008.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 15-22, 2010.

SOUZA JUNIOR, I. G; COSTA, A. C. S; SAMBATTI, J. A; PETERNELE, W. S; TORMENA, C. A; MONTES, C. R; CLEMENTE, C. A. Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à Área Superficial Específica e à Capacidade de Troca Catiônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1355-1365, 2007.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v.40, p.840-847, 2010.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 285-296, 2008.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Short and long-term effects of tillage systems and nutriente sources on soil physical properties of a southern Brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.1437-1446, 2008.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

WANG, Y. P.; CHEN, S. H.; CHANG, K. W.; SHEN, Y. Identifying and characterizing yield limiting factors in paddy rice using remote sensing yield maps. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 553-567, 2012.

WEIRICH NETO, P. H.; SVERZUT, C. B.; SCHIMANDEIRO, A. Necessidade de fertilizante e calcário em área sob sistema plantio direto considerando variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 338-343, 2006.

WERLE, R.; GARCIA, A.R. & ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

## 4 ARTIGO III

# DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE SOJA EM ZONAS COM DIFERENTES POTENCIAIS DE RENDIMENTO DE GRÃOS

### 4.1 Resumo

Permitir o manejo localizado em zonas com distintos potenciais de rendimento de grãos têm sido uma das grandes contribuições da agricultura de precisão (AP). Neste sentido, o estudo teve por objetivo avaliar o desempenho agronômico de seis cultivares de soja em zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos. O estudo foi conduzido durante o ano agrícola de 2013/2014 em duas áreas comerciais no município de Boa Vista das Missões – RS. Em cada área foram definidas zonas com distintos potenciais de rendimento de grãos a partir da sobreposição de mapas de colheita. Os experimentos foram alocados em delineamento de bloco ao acaso em esquema fatorial 3x6, com três zonas de potencial de rendimento de grãos (alto, médio e baixo) e seis cultivares de soja (BMX Ativa RR, Fundacep 65 RR, FPS Urano RR, FPS Júpiter RR, NA 5909 RG e BMX Força RR), com três repetições. Os parâmetros avaliados foram: índice de área foliar, massa seca, estatura de plantas, altura de inserção do 1º legume, número de legumes por metro quadrado, número total de legumes por planta, número de legumes na haste, número de legumes nos ramos, número de grãos por legume, índice de colheita, peso de mil grãos e rendimento de grãos. A cultivar BMX Força RR apresentou o maior rendimento de grãos na zona de baixo potencial. BMX Ativa RR foi em média a cultivar mais produtiva e mais estável em função das zonas, enquanto que NA 5909 RG foi mais produtiva em zonas de alto e médio potencial. Os resultados indicam que o posicionamento de cultivares de soja de acordo com as zonas de rendimento é uma estratégia importante para a AP e pode contribuir para aumentar a eficiência produtiva na cultura da soja. A prática caracteriza-se como um novo conceito de semeadura envolvendo "multi-cultivares".

**Palavras-chave:** Mapas de colheita. Manejo sítio-específico, Multi-cultivares. *Glycine max* (L.) Merrill.

## 4.2 Abstract

Allow the site-specific management in areas with different yield potential have been one of the great contributions of precision agriculture (PA). In this sense, the objective of this work was to evaluate the agronomic performance of six soybean cultivars in areas with different potential grain yield. The study was conducted during the agricultural year 2013/2014 in two agricultural areas in the municipality of Boa Vista das Missões - RS. In each area were defined zones with different yield potential using the yield maps superimposed. The experiments were allocated in the random block design in factorial 3x6, with three grain yield zones (high, medium and low) and six soybean cultivars (Brasmax Ativa RR, Fundacep 65 RR, FPS Urano RR, FPS Júpiter RR, Nidera 5909 RG and Brasmax Força RR), with three replications. The parameters evaluated were: leaf area index, dry weight, plant height, insertion height of first pods, number of pods per square meter, total number of pods per plant, number of pods on the stem, number of pods on branches, number of seeds per pod, harvest index, thousand grain weight and grain yield. The results showed that the yield zones influenced the leaf area index and dry matter of the cultivars. The cultivar Brasmax Força RR presented its highest grain yield in the low zone. Brasmax Ativa RR was in average the cultivar more productive and more stable in the yield zones, whereas Nidera 5909 RG was more productive in the high and middle zones. The results indicate that the positioning of soybean cultivars in accordance with management zones is an important strategy for the PA and may contribute to maximizing production efficiency of soybean. The practice characterized as a new concept of the “multi-cultivars” sowing.

**Keywords:** Yield maps. Site-specific management. Multi-cultivars. *Glycine max* (L.) Merrill.

## 4.3 Introdução

A definição e a diferenciação de zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos dentro de uma mesma área agrícola têm sido uma técnica amplamente empregada em áreas manejadas com agricultura de precisão (AP) (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; SANTI, 2007; SUSZEK et al., 2011; SANTI et al., 2013). Tal pressuposto tem sido atendido uma vez que a variabilidade espacial do rendimento de grãos tem sido verificada mesmo em

áreas agrícolas eficientemente manejadas (HÖRBE et al., 2013) o que pode estar indicando a presença de fatores de difícil manejo, e que refletem diretamente sobre o potencial do sistema produtivo (AMADO et al., 2005; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009; WANG e SHEN, 2015). Dentre estes fatores destacam-se a variabilidade natural da área, o relevo, a taxa de exposição solar, a textura do solo e as condições hídricas do local (AMADO et al., 2005; MEURER, 2007, SANTI, 2007).

Tal definição tem sido aplicada com o objetivo de maximizar o rendimento de grãos das culturas a partir do uso de diferentes estratégias para cada zona de manejo (MOLIN et al., 2006; GIRARDELLO et al., 2011; HÖRBE et al., 2013; DIACONO et al., 2014). Para que estas zonas sejam definidas de forma eficiente, várias técnicas têm sido utilizadas, com destaque para a sobreposição de mapas temporais de colheita, classificando-se as zonas em função do potencial médio relativo (MOLIN, 2002; BLACKMORE et al., 2003; MILANI et al., 2006; SANTI et al., 2013). Para que esta definição apresente consistência Santi et al. (2013) recomendam a utilização de no mínimo três mapas temporais de colheita.

Uma vez definidas as zonas potenciais, inúmeros trabalhos têm sido propostos como alternativas, com destaque para a modificação das técnicas de manejo da cultura no respectivo ano agrícola (SANGOI et al., 2002; MOLIN et al., 2006; HÖRBE et al., 2013). Estas modificações têm sido propostas em virtude de que com a evolução do manejo a partir do uso de ferramentas de AP, as intervenções sobre atributos do solo têm se mostrado pouco eficientes em relação ao rendimento de grãos das culturas (GIRARDELLO et al., 2011; CERRI e MAGALHÃES, 2012; SANTI et al., 2014), como é o caso da soja, a qual ocupa, no estado do Rio Grande do Sul, uma área de cultivo de aproximadamente 5 milhões de hectares com um rendimento de grãos médio de  $2605 \text{ kg ha}^{-1}$  (CONAB, 2014). Este rendimento de grãos é considerado muito abaixo do potencial possível de ser atingido.

Um das grandes alternativas relacionadas ao manejo por ambiente para a cultura da soja seria variar a população de plantas, afinal é uma prática já consolidada para a cultura do milho (SANGOI et al., 2002; MOLIN et al., 2006; PEAKE et al., 2008; FULTON et al., 2010; HÖRBE et al., 2013). No entanto, os resultados expressos na literatura em relação a esta técnica, para a cultura da soja, conduzem a divergências, dificultando indicações específicas (GIMENEZ, 2012; STRIEDER et al., 2013). Kuss et al. (2008) demonstraram que o aumento da população de plantas na cultura da soja favoreceu o rendimento de grãos somente em condições de deficiência hídrica. Martins et al. (1999), por sua vez, não observaram diferença no rendimento de grãos quando do aumento da população de plantas. Resultados semelhantes também foram retratados por Pires et al. (2000) e Rambo et al. (2003). Os autores atribuem os

resultados ao fato da cultura da soja apresentar elevada plasticidade, onde mesmo em condições inferiores de produção a cultura contrabalança estes efeitos por meio de compensação proporcional e individual entre plantas (THOMAS e COSTA, 2010). A resposta é, portanto altamente dependente da cultivar (STRIEDER et al., 2013).

O efeito da cultivar também foi reportado Edwards et al. (2005), que concluíram em seus estudos que o grupo de maturação das cultivares de soja foi um fator que influenciou o rendimento de grãos. Norsworthy e Shipe (2005) e Thomas et al. (2010) salientam que as cultivares de soja apresentam respostas distintas em relação as condições ambientais, e que por isso necessitam ser alocadas e manejadas de forma adequada para que expressem seu máximo potencial. Neste sentido, o posicionamento correto de cultivares parece ser mais eficiente do que a variação na população de plantas. Thomas et al. (2010) salientam que o potencial de rendimento de grãos das áreas agrícolas está diretamente relacionado a escolha e ao posicionamento apropriado das cultivares de soja. Contudo, tal prática não tem recebido a devida atenção. Trabalhos que avaliem o desempenho de cultivares de soja em relação a zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos, por exemplo, ainda são incipientes.

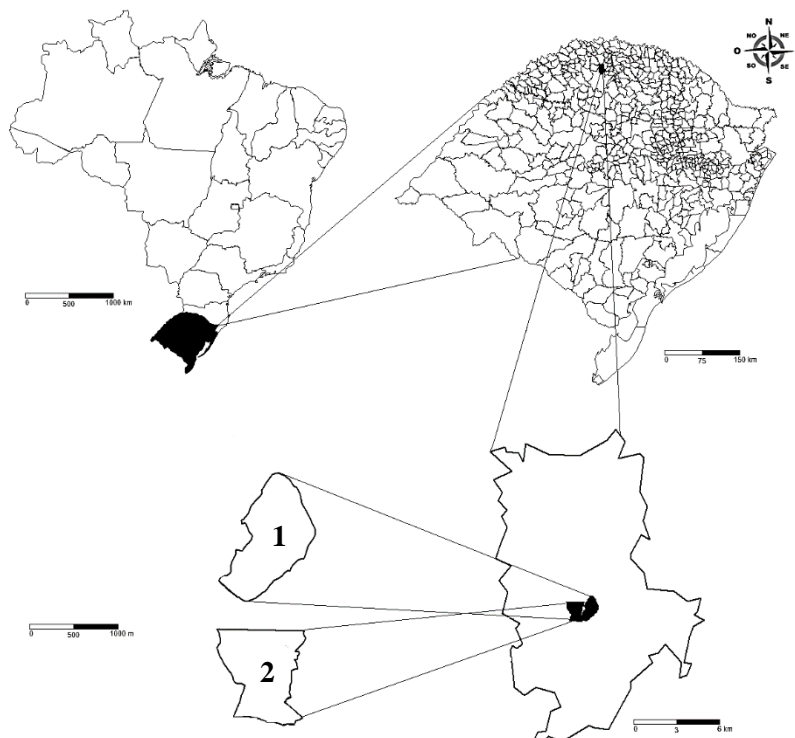
Tais constatações revelam que novas estratégias de AP necessitam ser estudadas para a cultura da soja e reforçam a necessidade de trabalhos que considerem o desempenho individual de cultivares por ambiente de produção. Estudos com este propósito são ferramentas valiosas para a evolução dos trabalhos em zonas de manejo, e podem contribuir para o aumento da eficiência produtiva em áreas agrícolas. Neste sentido, o estudo teve por objetivo avaliar o desempenho agrônômico de seis cultivares de soja com diferentes tipos de crescimento em zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos em duas áreas agrícolas manejadas com agricultura de precisão no sul do Brasil.

#### **4.4 Material e Métodos**

O estudo foi conduzido durante o ano agrícola de 2013/2014 em duas áreas comerciais de produção agrícola localizadas no município de Boa Vista das Missões – RS e situadas entre as coordenadas geográficas de 27°42'39" e 27°43'37" de latitude sul e 53°19'46" e 53°21'07" de longitude oeste. As áreas de estudo possuem 117,70 e 107,20 hectares e foram chamadas de área 1 e área 2, respectivamente conforme disposto na Figura 1. O relevo característico das áreas de estudo é do tipo suave ondulado e o solo classificado como

Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006). O clima do local é classificado segundo MALUF (2000) como subtropical com primavera úmida (STPU) apresentando temperatura média anual de 18,1°C e precipitação pluvial anual média de 1.919 mm.

As áreas experimentais vêm sendo conduzidas em sistema plantio direto (SPD) sem interrupção há 20 anos, seguindo um plano de rotação de culturas pré-estabelecido com cultivos intercalados de aveia, trigo e nabo forrageiro durante o inverno e soja e milho durante o verão.

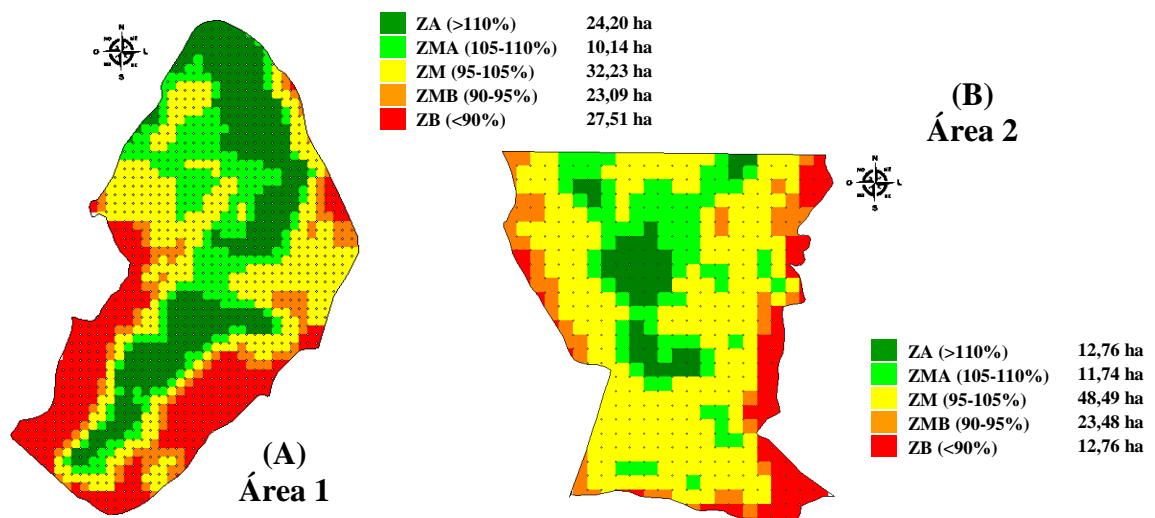


**Figura 1** – Localização geográfica das áreas experimentais utilizadas no estudo.

As duas áreas foram selecionadas para o estudo por apresentarem uma série histórica de mapas de colheita, o que permitiu a definição de zonas com distintos potenciais produtivos. Os mapas de colheita foram obtidos entre os anos de 2008 e 2013 por meio de uma colhedora marca CASE<sup>®</sup> modelo Axial-Flow 2399, contendo o sistema de agricultura de precisão AFS<sup>®</sup> (Advanced Farming System). Em função de alguns mapas conterem problemas no armazenamento dos dados, apenas aqueles que estavam completos foram utilizados para o estudo, sendo: Área 1: Aveia 2009, Milho 2008/2009 e Milho 2012/2013; Área 2: Milho 2009/2010, Soja 2012/2013 e Trigo 2012. Os mapas foram inicialmente filtrados, por meio do programa CR - Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007), eliminando-se em um raio de

pesquisa de 50 metros os pontos com coeficiente de variação (CV%) superior a 30% (SHIRATSUCHI et al., 2005). Posteriormente cada mapa de colheita foi sobreposto em uma malha amostral quadriculada de 0,25 ha (50x50 m) e em seguida procedeu-se a relativização de cada mapa.

De posse dos mapas relativizados, foi procedida à sobreposição dos mesmos e a geração de um novo mapa com a média relativa das 3 safras, para ambas as áreas. As zonas de rendimento de grãos foram classificadas da seguinte forma: zona de alto potencial (ZA): > 110% em relação à média; zona transitória médio-alto potencial (ZMA): 105 a 110%; zona de médio potencial (ZM): 95 a 105%; zona transitória médio-baixo potencial (ZMB): 90 a 95% e zona de baixo potencial (ZB): < 90% em relação à média (Figura 2).



**Figura 2** – Distribuição espacial das zonas de rendimento de grãos na área experimental 1 (A) e na área experimental 2 (B) a partir da sobreposição de três mapas de colheita.

Os experimentos foram instalados nas duas áreas experimentais e contemplaram as zonas de alto (ZA), médio (ZM) e baixo (ZB) potencial de rendimento de grãos. Estes foram alocados em delineamento de bloco ao acaso em esquema fatorial 3x6, com três zonas de produtividade (ZA, ZM e ZB) e seis cultivares de soja (BMX Ativa RR, Fundacep 65 RR, FPS Urano RR, FPS Júpiter RR, NA 5909 RG e BMX Força RR), com três repetições. As cultivares de soja utilizadas nos experimentos foram selecionadas em função de sua área



semeada na região noroeste do RS e da disponibilidade das sementes. Suas características agrônômicas estão dispostas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Características agrônômicas das cultivares de soja utilizadas nos experimentos.

Característica*	Cultivar de soja					
	BMX Ativa RR (Ativa)	Fundacep 65 RR (CEP 65)	FPS Urano RR (Urano)	FPS Júpiter RR (Júpiter)	NA 5909 RG (5909)	BMX Força RR (Força)
Obtendor	Brasmax Genética	CCGL Tec	Fundação Pró Sementes	Fundação Pró Sementes	Nidera Sementes	Brasmax Genética
Estatura	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Alta
GM <sup>(1)</sup>	5.6	5.9	6.2	5.9	5.9	6.2
Ciclo	Precoce / Superprecoce	Precoce	Precoce	Precoce	Precoce	Precoce
Tipo de crescimento**	D	D	D	I	I	I
PMS (g) <sup>(2)</sup>	174g	144 g	164g	142g	155 g	174g
Cor da flor	Roxa	Branca	Roxa	Branca	Roxa	Branca
Resistência ao acamamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Exigência a fertilidade	Alta	Alta	Média/Alta	Alta	Média/Alta	Média/Alta
Potencial produtivo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Capacidade de ramificação	Baixa	Média/Alta	Média/Alta	Média/Alta	Alta	Alta
Época de semeadura preferencial	Novembro	Novembro	Novembro	Novembro	Novembro	Novembro

(\*) Informações obtidas para cada cultivar considerando-se a macrorregião sojicola 1 (Sul) e microrregião fisiográfica 102 (Planalto médio do RS) (REUNIÃO..., 2012).

(1) Grupo de maturação;

(\*\*) D= tipo de crescimento determinado e I= tipo de crescimento indeterminado;

(2) Peso de Mil Sementes (g);

A semeadura foi realizada de forma manual em unidades experimentais com 13,5m<sup>2</sup> entre os dias 26/11/2013 (Área 2) e 28/11/2013 (Área 1) utilizando-se a densidade de

semeadura indicada para cada cultivar e considerando-se as informações disponíveis para a região do planalto médio do RS (Tabela 2) (REUNIÃO..., 2012).

**Tabela 2** – Densidade de plantas indicada por hectare e densidade utilizada nos experimentos para as diferentes cultivares de soja.

Cultivares de soja	Densidade de plantas por hectare * 1000	
	Densidade recomendada <sup>(1)</sup>	Densidade utilizada <sup>(2)</sup>
BMX Ativa RR	300-350	350
Fundacep 65 RR	280-330	300
FPS Urano RR	300-350	300
FPS Júpiter RR	350-400	350
NA 5909 RG	280-330	300
BBMX Força RR	260-300	300

<sup>(1)</sup> Densidade de plantas indicada e obtida a partir das informações fornecidas pelos obtentores de cada cultivar e considerando-se a macrorregião sojicola 1 (Sul) e microrregião fisiográfica 102 (Planalto médio do RS) (REUNIÃO..., 2012).

<sup>(2)</sup> Densidade efetiva utilizada para as cultivares de soja definida a partir das informações fornecidas pelos obtentores de cada cultivar e por equipes técnicas e produtores da região visando a sua máxima expressão produtiva.

O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,5 m e correspondeu ao espaçamento tradicionalmente utilizado pelo produtor na região. Antes da semeadura, as sementes de todas as cultivares foram tratadas com Fludioxonil + Metalaxyl – M na dose de 100 mL 100kg<sup>-1</sup> de sementes (fungicida) e Thiametoxan na dose de 200mL 100kg<sup>-1</sup> de sementes (inseticida).

Para que fosse garantida a obtenção da população final desejada, a densidade de sementes foi corrigida em função da percentagem de germinação das sementes de cada cultivar (Tabela 3) e entre os dias 10 a 12/12/2013 as unidades experimentais foram monitoradas, sendo realizado o ajuste das populações sempre que necessário.

**Tabela 3** – Porcentagem média de vigor e de germinação de sementes das diferentes cultivares de soja, utilizadas nos experimentos.

Teste <sup>(1)</sup>	Cultivares de soja					
	BMX Ativa RR	Fundacep 65 RR	FPS Urano RR	FPS Júpiter RR	NA 5909 RG	BMX Força RR
Vigor (%)	89	86	86	84	85	85
Germinação (%)	92	89	88	87	90	91

<sup>(1)</sup> Testes realizados seguindo metodologia disposta nas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009).

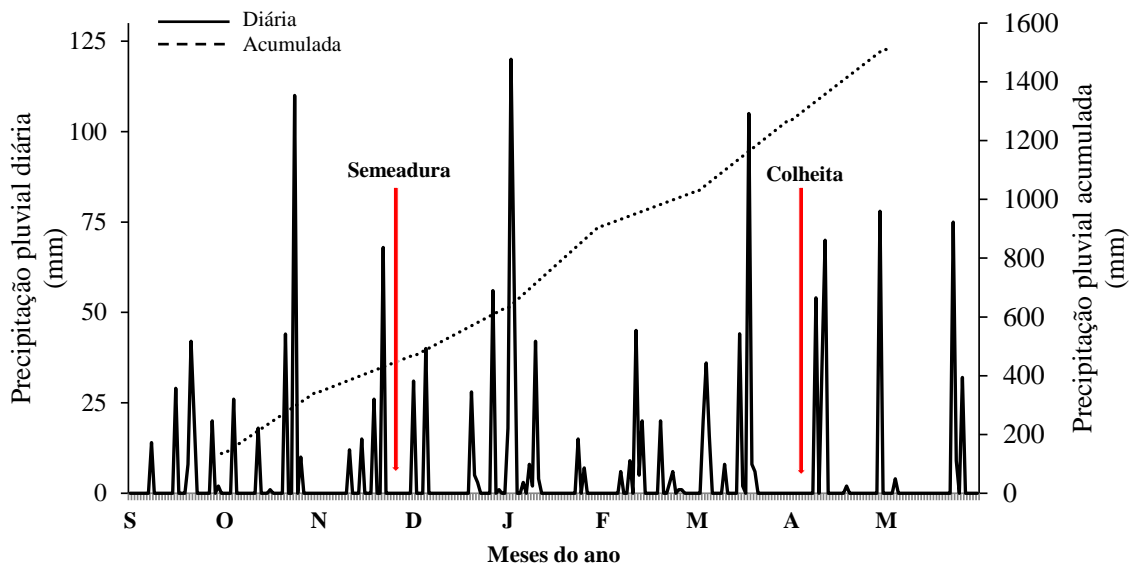
A adubação utilizada em todas as unidades experimentais seguiu as indicações propostas pela CQFS-RS/SC (2004), sendo de 150 kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 11-52-00 (Mono amônio fosfato – MAP) aplicadas na base durante a confecção das linhas de semeadura, acrescidos de 200 kg ha<sup>-1</sup> 00-00-60 (Cloro de Potássio – KCL) aplicados a lanço em pré-semeadura. As características químicas do solo das áreas experimentais são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Atributos físico-químicos do solo na profundidade de 0,00 - 0,10 m nas duas áreas experimentais e para as zonas de alto (ZA), médio (ZM) e baixo potencial (ZB).

Atributos físico-químicos do solo <sup>(1)</sup>										
Zona	Argila (%)	pH (água)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	MO (%)	V (%)	Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
Área 1										
ZA	53	5,4	39,0	113	6,9	3,0	3,8	63	0,4	16,2
ZM	61	5,5	27,6	92,5	6,3	3,3	3,0	65	0,4	15,1
ZB	73	5,6	16,3	93,3	6,4	3,4	3,1	66	0,3	15,2
Área 2										
ZA	54	5,8	35,2	101,6	7,7	4,0	3,48	70	0,0	17,1
ZM	52	6,1	36,7	140,8	8,3	4,4	3,50	76	0,0	17,0
ZB	67	6,0	14,8	225,0	7,1	3,9	3,51	73	0,0	15,7

<sup>(1)</sup> pH (potencial hidrogeniônico); P (fósforo); K<sup>+</sup> (potássio); Ca<sup>2+</sup> (cálcio); Mg<sup>2+</sup> (magnésio); MO (matéria orgânica); V (saturação por bases); Al<sup>3+</sup> (alumínio); CTC (capacidade de troca catiônica a pH 7,0)

A safra 2013/2014 foi caracterizada por uma média de precipitação pluvial considerada favorável para a cultura da soja, atingindo-se um acumulado de 1.165 mm durante todo o ciclo da cultura. As maiores médias mensais foram obtidas para os meses de janeiro e março os quais compreenderam respectivamente o final do período vegetativo e o início do período reprodutivo (estádio V7 a R2) e o final do período reprodutivo (contemplando os estádios R5 a R7) (FEHR e CAVINESS, 1977). A menor média de precipitação pluvial foi observada durante o mês de fevereiro, compreendendo os estádios R2 a R5 (FEHR e CAVINESS, 1977). No entanto, a altura de chuva precipitada foi considerada satisfatória e, portanto, não ocasionou limitações ao bom desenvolvimento e ao rendimento de grãos da cultura da soja nas áreas experimentais (Figura 3).



**Figura 3** – Precipitação pluvial diária e precipitação pluvial acumulada nas áreas experimentais durante o período de condução do experimento.

Fonte: Dados cedidos pelo proprietário da área.

Todos os tratamentos culturais da cultura foram realizados pelo produtor rural, de acordo com as respectivas necessidades de intervenção. Ao todo foram procedidas quatro aplicações de fungicida tendo como foco principal o controle do patógeno *Phakopsora pachyrhizi* H. (ferrugem asiática da soja). As aplicações foram realizadas durante os estádios V6 (sexto nó e quinto trifólio aberto), R2 (pleno florescimento), R4 (plena formação de legumes) e R6 (legumes com enchimento pleno) (FEHR e CAVINESS, 1977), utilizando-se a dose de  $0,3 \text{ L ha}^{-1}$  de azoxistrobina ( $200 \text{ g/L}$ ) + ciproconazol ( $80 \text{ g/L}$ ) e um volume de calda de  $150 \text{ L ha}^{-1}$ . As aplicações de inseticida compreenderam quatro intervenções e tiveram como principais insetos-praga alvo: *Nezara viridula* L. (Hemiptera: Pentatomidae), *Euschistus heros* F. (Hemiptera: Pentatomidae), *Anticarsia gemmatalis* H. (Lepidoptera: Noctuidae), *Pseudoplusia includens* W. (Lepidoptera: Noctuidae) e *Helicoverpa armigera* H. (Lepidoptera: Noctuidae), sendo esta última considerada o principal inseto-praga na cultura da soja para o respectivo ano agrícola. As aplicações foram procedidas com acefato ( $750 \text{ g kg}^{-1}$ ) na dose de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  + metoxifenoazida ( $240 \text{ g L}^{-1}$ ) na dose de  $300 \text{ mL ha}^{-1}$  (duas aplicações); espinosade ( $480 \text{ g L}^{-1}$ ) na dosagem de  $50 \text{ mL ha}^{-1}$  (uma aplicação) e metoxifenoazida ( $240 \text{ g L}^{-1}$ ) na dose de  $300 \text{ mL ha}^{-1}$  (uma aplicação). O volume de calda utilizado foi de  $150 \text{ L ha}^{-1}$ .

Quando as cultivares se encontravam no estágio vegetativo R2 (plena floração), foram coletadas três plantas de cada unidade experimental para a quantificação da área foliar de

plantas (AF) (BENINCASA, 2003). Para a mensuração da AF utilizou-se um integrador de área foliar LI-COR® modelo LI 3100, onde cada folha foi destacada da planta e inserida no equipamento de forma individual. A partir dos resultados de AF foi determinado o índice de área foliar (IAF) por meio da equação:  $IAF = AF/As$ , onde  $As$  refere-se à área de solo ocupado pelas plantas a qual foi quantificada pela equação:  $As = Dp * Dl$ , onde  $Dp$  refere-se à distância ocupada pelas plantas e  $Dl$  refere-se à distância entre linhas. Detalhes deste procedimento podem ser obtidos em Della Flora (2013). Posteriormente as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa de ventilação forçada a 65°C até atingir peso constante, para a quantificação da massa seca de plantas (MS).

A colheita das unidades experimentais foi procedida de forma manual durante a 1ª quinzena do mês de abril de 2014. Para tal, foram colhidas as cinco linhas centrais de cada unidade e excluindo-se 0,5 m de cada extremidade. As plantas colhidas foram posteriormente trilhadas para a quantificação do rendimento de grãos, o qual foi corrigido para 13% de umidade e quantificado em  $kg\ ha^{-1}$ . Na oportunidade, foram coletas 10 plantas de cada unidade experimental, a partir das quais foram quantificados os seguintes parâmetros: estatura de plantas, altura de inserção do 1º legume (INSLEG), número de legumes por metro quadrado (NLEGM<sup>2</sup>), número de legumes por planta (NLEGP), número de legumes por planta na haste (NLEGH), número de legumes por planta nos ramos (NLEGR), peso de mil grãos (PMG) e número de grãos por legume (NGL). O índice de colheita (IC) foi quantificado a partir da relação entre a fração de matéria seca de grãos produzidos e a matéria seca total da planta (DONALD, 1962; BRAGA e COSTA, 1983).

Os parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância ( $p < 0,05$ ) utilizando-se programa computacional ASSISTAT (Versão 7.7) e quando da significância dos resultados pelo teste F, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### **4.5 Resultados e discussão**

Os resultados da análise de variância evidenciaram interação significativa entre os fatores zonas de rendimento de grãos e cultivares de soja para o IAF, quantificado no estádio R2, em ambas as áreas experimentais (Tabela 5).

**Tabela 5** – Nível de significância de  $p$  para a análise de variância dos fatores zona de rendimento de grãos (Z), cultivares de soja (C) e a interação Z x C para os diferentes parâmetros avaliados e os respectivos coeficientes de variação (CV) para as duas áreas experimentais.

Área	Variável <sup>(1)</sup>	Zona (Z)	Cultivar (G)	Z x C	CV (%)
1	IAF	0,0048 **	<0,0001 **	0,0258 *	13,64
	MS	0,0003 **	0,0092 **	0,0483 *	12,04
	Estatura de plantas	0,0047 **	<0,0001 **	0,5250 ns	5,51
	INSLEG	0,0001 **	<0,0001 **	0,3857 ns	10,53
	Rendimento de grãos	0,1478 ns	<0,0001 **	<0,0001 **	5,07
	NLEGM <sup>2</sup>	0,7929 ns	0,0010 **	0,1770 ns	14,07
	NLEGP	0,7323 ns	<0,0001 **	0,1553 ns	13,60
	NLEGH	0,9453 ns	0,0533 *	0,0011 **	14,02
	NLEGR	0,7367 ns	<0,0001 **	0,5481 ns	25,66
	PMG	0,0498 *	<0,0001 **	0,1470 ns	5,33
	NGL	0,0271 *	<0,0001 **	0,0350 *	3,26
	IC	0,2358 ns	<0,0001 **	0,6178 ns	6,75
	2	IAF	0,0266 *	0,0462 *	0,0269 *
MS		0,0162 *	0,0098 **	0,0101 **	20,08
Estatura de plantas		0,6807 ns	<0,0001 **	0,6575 ns	6,50
INSLEG		0,0620 ns	0,0001 **	0,0900 ns	16,59
Rendimento de grãos		0,0086 **	0,0005 **	0,0208 *	7,44
NLEGM <sup>2</sup>		0,1049 ns	0,0119 *	0,2012 ns	15,84
NLEGP		0,0802 ns	0,0014 *	0,1442 ns	15,77
NLEGH		0,0955 ns	<0,0001 **	0,0135 *	10,86
NLEGR		0,0307 *	0,0034 **	0,2484 ns	34,00
PMG		0,8213 ns	<0,0001 **	0,5398 ns	4,94
NGL		0,0253 *	<0,0001 **	0,0082 **	2,69
IC		0,1281 ns	<0,0001 **	0,0917 ns	9,02

\* Significativo a 5% de probabilidade de erro;

\*\* Significativo a 1% de probabilidade de erro;

<sup>ns</sup> Não significativo

<sup>(1)</sup> IAF (Índice de área foliar), MS (peso de matéria seca), INSLEG (altura de inserção do 1º legume), NLEGM<sup>2</sup> (número de legumes por metro quadrado), NLEGP (número de legumes por planta), NLEGH (número de legumes na haste), NLEGR (número de legumes nos ramos), PMG (peso de mil grãos), NGL (número de grão por legume) e IC (índice de colheita).

Na área experimental 1, para a ZA os maiores IAF em R2 foram obtidos para as cultivares ‘Força’ (5,05), ‘CEP 65’ (5,00), ‘5909’ (4,33), ‘Urano’ (3,94) e ‘Ativa’ (3,90), enquanto que a cultivar ‘Júpiter’ apresentou os menores resultados de IAF, com 3,29 (Tabela 6). Para a ZM todas as cultivares, exceto ‘Força’ e ‘CEP 65’, apresentaram superioridade numérica para o IAF em relação à ZA e ZB, sendo os maiores valores de IAF para a ZM, obtidos nas cultivares ‘5909’ (6,36) e ‘CEP 65’ (4,81) (Tabela 6). A superioridade do IAF em grande parte das cultivares para a ZM resultou em valores médios de IAF superiores para esta zona, enquanto que a ZB apresentou valores médios inferiores. Para a ZB as cultivares não diferiram entre si (Tabela 6). A cultivar ‘5909’ foi a única que diferiu entre as zonas na área experimental 1, apresentando os maiores resultados na ZM, com IAF de 6,36, enquanto que

ZA e ZB não diferiram entre si. Na área experimental 2 os resultados demonstraram não haver diferença significativa entre as cultivares para a ZA e ZB, enquanto que para a ZM, ‘Força’ apresentou o maior resultado, com IAF de 8,45, embora não diferindo significativamente de ‘Urano’ (Tabela 6).

**Tabela 6** – Índice de área foliar (IAF) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

Índice de área foliar							
Área 1							
Zona ( <sup>2</sup> )	Hábito de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	3,90 aAB*	5,00 aA	3,94 aAB	3,29 aB	4,33 bAB	5,05 aA	4,25
ZM	4,07 aB	4,81 aAB	4,43 aB	4,09 aB	6,36 aA	4,38 aB	4,69
ZB	4,18 aA	4,02 aA	4,04 aA	3,29 aA	4,51 bA	4,01 aA	4,01
<b>Média</b>	4,05	4,61	4,14	3,56	5,06	4,48	
Área 2							
ZA	4,06 aA	4,00 aA	4,20 aA	4,57 aA	6,21 aA	4,98 bA	4,67
ZM	4,98 aBC	5,46 aBC	6,43 aAB	5,81 aBC	4,03 aC	8,45 aA	5,74
ZB	4,88 aA	5,13 aA	4,71 aA	4,72 aA	5,48 aA	5,53 bA	5,08
<b>Média</b>	4,64	4,87	5,12	4,80	5,24	6,32	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

As diferenças de IAF entre as zonas de rendimento somente foram observadas na área experimental 2 para a cultivar ‘Força’, a qual apresentou maior IAF na ZM com ZA e ZB não diferindo entre si. Em média, na área experimental 2, a ZM também foi a que apresentou os maiores valores de IAF (Tabela 6). O IAF tem sido relacionado como um fator importante a ser monitorado por expressar diretamente o acúmulo de matéria seca nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta e, conseqüentemente o rendimento de grãos na cultura da soja, uma vez que está diretamente relacionado com o processo fotossintético (PIRES et al., 1998; PIRES et al., 2000; FAVARIN et al., 2002; EDWARDS et al., 2005; TOLEDO et al., 2010; DELLA FLORA, 2013).

O aumento do IAF, até um valor crítico de  $3,5 - 4,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , o qual ocorre entre os estádios R1 e R2 (BOARD e HARVILLE, 1992; BOARD e HARVILLE, 1994) resulta em maior interceptação de luz e, conseqüentemente, em aumento da fotossíntese líquida (HEIFFIG et al., 2006). No entanto, esta relação com o rendimento de grãos da cultura pode

não apresentar linearidade, uma vez que o IAF está sujeito a interferências ambientais (DALLACORT et al., 2006), além de ser considerado um parâmetro intrínseco de cada cultivar. Tais afirmações confirmam em partes os resultados obtidos no presente estudo, de que existe diferenciação do IAF entre cultivares, e ratifica o fato de que esta é uma característica peculiar e estratégica de cada uma delas. O IAF pode ser influenciado pelo ciclo da cultivar, estatura, potencial de ramificação, tipo de crescimento e também pelo estágio fenológico em que são procedidas tais avaliações (PIRES et al., 1998; HEIFFIG et al., 2006). Pires et al. (1998) obteve maior IAF em estágio R2, enquanto que Heiffig et al. (2006) alcançou maior IAF em estágio R5, ambos trabalhando com cultivares de tipo de crescimento determinado.

A cultivares com hábito de crescimento determinado são caracterizadas por possuírem inflorescência racemosa terminal e axilar, sendo que o seu crescimento vegetativo quase cessa após o florescimento, podendo crescer até 10% da altura final. Cultivares de tipo de crescimento indeterminado, por sua vez, possuem apenas inflorescência axilar, e por isso a gema apical mantém o crescimento vegetativo mesmo após início do florescimento (NOGUEIRA et al., 2009).

As zonas de rendimento parecem afetar de forma pouco pronunciada, porém não ausente, o IAF das cultivares. Tal fato pode ser atribuído às características de alta plasticidade, presente em grande parte das cultivares de soja, o que confere a cultura certa capacidade em modificar suas características morfológicas em função das condições impostas pelo manejo ou pelo ambiente de produção (RAMBO et al., 2003; FERREIRA JUNIOR. et al., 2010). Catuchi et al. (2012) em estudos com duas cultivares de soja observaram que a restrição hídrica foi um fator que reduziu a área foliar. No entanto, esta situação não foi observada no presente estudo. Outra hipótese é de que em anos com precipitação pluvial satisfatória, como no caso deste estudo, os fatores ligados à qualidade físico-química do solo passam a ter pouca influência sobre certos componentes da cultura da soja. Deste modo, as modificações ocorridas para o IAF nas cultivares '5909' (Área 1) e 'Força' (Área 2) entre as zonas, remetem a fatores peculiares de cada local, os quais influenciaram o crescimento vegetativo destas cultivares. Tais constatações corroboram com os resultados apontados por Della Flora (2013) que estudando a distribuição espacial do IAF de soja em uma mesma área experimental, verificou ampla variação deste atributo, quando a cultura da soja se encontrava em estágio vegetativo V4, o que já pode antecipar a probabilidade de ocorrência de desuniformidade espacial no rendimento de massa seca. Tal suposição pode ser atendida a



partir dos resultados de MS obtida para as cultivares e para as zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos.

Em média, os maiores valores de MS também foram obtidos em ambas as áreas experimentais para a ZM (Tabela 7). Para a área experimental 1 os menores valores de MS foram obtidos na ZA para a cultivar ‘Júpiter’ (3.522 kg ha<sup>-1</sup>). No entanto, o mesmo diferiu apenas para a cultivar ‘Força’, onde foram obtidos os maiores valores de MS, com 5.059 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que as demais cultivares não difeririam estatisticamente entre si (Tabela 7). Para a ZM a cultivar ‘5909’ foi o que obteve os maiores valores de MS (6.333 kg ha<sup>-1</sup>), seguido por ‘CEP 65’ (5.118 kg ha<sup>-1</sup>). A ZB por sua vez, apresentou em média os menores valores absolutos de MS, não havendo diferença significativa entre as cultivares avaliadas (Tabela 7).

Os valores de MS diferiram entres as zonas para grande parte das cultivares, exceto ‘Ativa’ e ‘Urano’, ambos com tipo de crescimento determinado (Tabela 7). ‘CEP 65’ apresentou o menor valor de MS para a ZB, enquanto que ‘Júpiter’, ‘5909’ e ‘Força’ apresentaram os menores valores de MS em ZA, ZB e ZB, respectivamente (Tabela 7). Estes resultados reforçam a existência de uma dinâmica diferenciada para cada cultivar em função do ambiente de produção (zona de manejo). Esta dinâmica pode estar relacionada, por exemplo, a fatores relacionados à qualidade do solo, o que reflete diretamente sobre a sua capacidade produtiva (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009; GIRARDELLO et al., 2011). No entanto, um estudo mais detalhado seria necessário para que fosse possível estabelecer relações mais precisas.

Tais constatações, associadas à dinâmica diferenciada entre as zonas de rendimento e as áreas experimentais em relação a MS das cultivares de soja, indicam também, que os modelos gerados para certa área agrícola, necessitam de um estudo prévio antes de serem estendidos para outras áreas de produção (SANTI et al., 2014). Muitas vezes, os modelos gerados se tornarão inerentes à respectiva área agrícola. Os resultados de MS obtidos para a área experimental 2 reforçam tal justificativa, sendo que as cultivares não diferiram entre si para ZA e ZB, enquanto que para a ZM, a cultivar ‘Força’ apresentou superioridade em relação as demais, sem no entanto diferir de ‘Urano’, ‘Júpiter’ e ‘CEP 65’ (Tabela 7).

O efeito das zonas sobre as cultivares de soja foi observado em três das seis cultivares estudadas, sendo que ‘Urano’ e ‘Força’ apresentaram os maiores valores de MS na ZM, enquanto que ‘5909’ alcançou os resultados superiores na ZA (Tabela 7). Em média ‘5909’ (área 1) e ‘Urano’ (área 2) foram as cultivares que apresentaram os maiores valores de MS, independente das zonas avaliadas (Tabela 7).

**Tabela 7** – Peso de matéria seca (MS, kg ha<sup>-1</sup>) no estádio R2 de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

Peso de matéria seca (kg ha <sup>-1</sup> )							
Área 1							
Zona ( <sup>2</sup> )	Tipo de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	4.682 aAB	4.586 abAB	4.267aAB	3.522 bB	4.707bAB	5.059 aA	4.470
ZM	4.700 aB*	5.118 aAB	4.844 aB	4.748 aB	6.333 aA	4.768 aB	5.085
ZB	4.375 aA	3.987 bA	4.251 aA	3.690 abA	4.161 bA	3.575 bA	4.006
<b>Média</b>	4.586	4.563	4.454	3.987	5.067	4.467	
Área 2							
ZA	4.748 aA	4.607 aA	4.699 bA	4.456 aA	6.079 aA	5.441 bA	5.005
ZM	5.373 aB	5.778aABC	7.251aAB	6.329aABC	3.591 bC	8.531 aA	6.142
ZB	6.090 aA	4.291 aA	5.404abA	6.153 aA	5.157 abA	6.498abA	5.599
<b>Média</b>	5.404	4.892	5.784	5.456	4.952	6.823	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

As cultivares ‘5909’, ‘Urano’, ‘Júpiter’ e ‘Força’ apresentaram certa relação entre o maior IAF e a maior MS entre as zonas, para as duas áreas experimentais, enquanto que ‘CEP 65’ expressou relação na área experimental 2. A cultivar ‘Ativa’ apresentou baixa similaridade entre IAF e MS (Tabela 6 e 7). Tais resultados reforçam a ocorrência de efeito do local sobre a dinâmica das cultivares de soja (RAMBO et al., 2004; FERREIRA JUNIOR. et al., 2010) e também reafirmam a existência de uma estratégia individual de cada cultivar quanto ao maior ou menor acúmulo de MS em folhas ou caules e ramos e também da dinâmica do IAF em função do manejo em que se está inserida. Procópio et al (2014) e Luca e Hungria (2014) verificaram em seus estudos que mesmo em densidades menores de plantas o IAF foi compensado pela maior área foliar por planta. Este efeito compensatório, explica a influência do IAF sobre a MS de algumas cultivares. No entanto, esta tendência não apresentou linearidade.

Um fator que pode ter influenciado a baixa tendência de relação entre IAF e MS em algumas cultivares pode estar relacionado ao fato do momento de avaliação destes parâmetros, que ocorreu no estádio R2. HEIFFIG et al. (2006) estudando arranjos espaciais em uma cultivar de soja de tipo determinado no estado de São Paulo, verificaram que independente dos espaçamentos utilizados o maior IAF foi obtido no estádio R5, o que remete a possibilidade de que algumas cultivares ainda não haviam atingido seu máximo IAF, o que podem ter ocorrido nos estádios seguintes. Uma avaliação em outro estádio da cultura da soja

poderia alterar as relações existentes entre IAF e MS e, portanto para que se tenha um entendimento mais preciso do IAF e do acúmulo de MS na cultura da soja, sugere-se que sejam procedidas avaliações em diferentes estádios. Neste caso, a estimativa por meio do uso de sensores pode ser uma alternativa. Pires et al. (1998) estudando MS e IAF em uma cultivar de soja com tipo de crescimento determinado, nos estádios V6, R2 e R5 verificaram que em média o maior acúmulo de MS ocorreu no estádio R5 e que o maior IAF foi obtido no estádio R2.

A estatura de plantas foi um parâmetro onde não se obteve interação significativa entre zonas e cultivares para ambas as áreas experimentais (Tabela 8) o que indica, portanto que as zonas não foram capazes de alterar de forma significativa a estatura de plantas das diferentes cultivares. Contudo, ao se verificar o efeito principal das zonas de produtividade, a ZM apresentou os maiores resultados para a área experimental 1, uma vez que para a área experimental 2, não foram obtidas diferenças significativas (Tabela 8).

Comparando-se os efeitos principais das cultivares avaliadas, verificou-se que na área experimental 1 a maior estatura de plantas foi obtida para a cultivar ‘Força’ (89 cm) enquanto que ‘5909’, ‘Urano’ e ‘Ativa’ obtiveram os menores resultados, com 65,96, 61,51 e 60,97 cm, respectivamente. Na área experimental 2, ‘Força’ também apresentou a maior estatura, com 100,72 cm, enquanto que ‘Urano’ (63,55 cm) e ‘Ativa’ (63,43 cm) apresentaram os menores valores, sem diferir no entanto de ‘CEP 65’ (70,30 cm) (Tabela 8). Segundo Perini et al. (2012) a altura de plantas é um fator que está relacionado com o tipo de crescimento (determinado ou indeterminado), contudo os resultados divergem dos obtidos neste estudo onde esta tendência não foi constatada. Os resultados obtidos concordam com os apresentados pelos detentores de cada cultivar (Tabela 1).

**Tabela 8** – Estatura de plantas (cm) e altura de inserção do primeiro legume (INSLEG, cm) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

----- Estatura de plantas (cm) -----							
Área 1							
Zona ( <sup>2</sup> )	Tipo de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	62,55	76,64	60,96	72,55	65,59	92,05	71,72 ab
ZM	62,80	77,96	62,22	80,30	66,96	90,09	73,45 a
ZB	57,56	74,45	60,94	69,71	65,33	85,23	68,87 b
<b>Média</b>	60,97 C*	76,35 B	61,51 C	74,19 B	65,96 C	89,12 A	
----- Área 2 -----							
ZA	63,18	70,21	65,07	83,73	77,04	104,01	77,21 <sup>ns</sup>
ZM	61,47	70,75	59,27	87,24	75,43	101,06	75,87
ZB	65,65	69,30	66,32	86,06	77,30	97,09	77,06
<b>Média</b>	63,43 D	70,30 CD	63,55 D	85,68 B	76,56 C	100,72 A	
----- Altura de inserção primeiro legume (cm) -----							
Área 1							
Zona	Tipo de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	19,46	21,73	20,06	21,10	23,50	24,73	21,76 a
ZM	16,86	21,60	17,26	17,60	19,90	23,06	19,38 b
ZB	15,10	21,10	17,93	16,40	16,86	23,93	18,55 b
<b>Média</b>	17,14 C	21,47 AB	18,42 C	18,36 C	20,08 BC	23,91 A	
----- Área 2 -----							
ZA	17,00	24,00	21,00	19,20	23,40	27,00	21,90 <sup>ns</sup>
ZM	15,00	21,26	15,00	22,43	23,43	18,00	19,14
ZB	16,80	18,06	18,00	21,60	23,00	25,00	20,51
<b>Média</b>	16,26 C	21,11 AB	17,84 BC	21,07 ABC	23,17 A	23,63 A	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

A estatura de plantas pode ser considerada, portanto, como uma característica inerente de cada cultivar de soja, contudo, que pode ser diretamente influenciada, por exemplo, pela época de semeadura (LUDWIG, et al., 2010), a qual interfere diretamente sobre o fotoperíodo, que por sua vez interfere de forma notável sobre a estatura de plantas (FREITAS et al., 2010, JIANG et al., 2011). A soja é uma planta típica de dias curtos e, portanto exige um fotoperíodo menor ou igual ao seu para que ocorra a indução da floração (WATANABE et al., 2012). Desta forma, semeaduras tardias induzirão ao florescimento precoce, acelerando o seu desenvolvimento e tornando o ciclo mais curto (EMBRAPA, 2006; SETIYONO et al., 2007) o que reduz a estatura das plantas (FREITAS et al., 2010; LUDWIG, et al., 2010). Cabe salientar, no entanto, que as cultivares de soja respondem de forma distinta ao fotoperíodo, e

que em cultivares sensíveis, a resposta é quantitativa, porém não absoluta, ou seja, a floração ocorrerá de qualquer modo, contudo, o tempo para o seu início está condicionado ao comprimento do dia (RODRIGUES et al.; 2001; BASTIDAS et al., 2008; FREITAS et al., 2010).

Em virtude das cultivares terem sido semeadas durante a época preferencial (novembro) (Tabela 1) esta é uma afirmação que não pode ser validada neste estudo. Neste caso, é importante salientar que a estatura de plantas obtida esteve de acordo com as informações fornecidas pelos detentores de cada cultivar (Tabela 1).

Os efeitos principais para a altura de inserção do primeiro legume (INSLEG) são apresentados na Tabela 8. A maior INSLEG na área experimental 1 foi obtida para a cultivar ‘Força’ (23,91 cm), seguido de ‘CEP 65’ (21,47 cm), enquanto que a menor altura foi obtida na cultivar ‘Ativa’ (17,14 cm) seguida de ‘Júpiter’ (18,36 cm), ‘Urano’ (18,42 cm) e ‘5909’ (20,08 cm) (Tabela 8). Os resultados obtidos para a área experimental 1 confirmam que a INSLEG está diretamente relacionada à estatura da cultivar e podem ser estendidos para a área experimental 2, onde a maior INSLEG foi obtida para a cultivar ‘Força’ (23,63 cm) seguida de ‘5909’ (23,17 cm), ‘CEP 65’ (21,11 cm) e ‘Júpiter’ (21,07 cm) enquanto que a menor INSLEG foi obtida novamente para ‘Ativa’, com 16,26 cm (Tabela 8). Os resultados demonstram, portanto que a INSLEG é um parâmetro pouco influenciado pela zona de rendimento e que a mesma está mais condicionada à estatura da cultivar (LUDWIG, et al., 2010). Assim, uma vez que a estatura for modificada, a INSLEG também será.

Interação significativa entre zonas de rendimento e cultivares foi observada para o rendimento de grãos (Tabela 9), associado a um baixo CV (%) o qual foi de 5,07% e 7,44% para a área 1 e 2, respectivamente. Para a área experimental 1 o maior rendimento de grãos para a ZA foi obtido com a cultivar ‘Urano’ com 4.242 kg ha<sup>-1</sup>, contudo o mesmo não diferiu de ‘5909’, ‘Júpiter’ e ‘Ativa’, os quais apresentaram um rendimento de grãos de 4.156, 4.060 e 3.936 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estas mesmas cultivares, exceto ‘Júpiter’, também foram os mais produtivos para a ZM, alcançando rendimentos de 4.166 kg ha<sup>-1</sup> (‘5909’), 4.132 kg ha<sup>-1</sup> (‘Ativa’) e 3.858 kg ha<sup>-1</sup> (‘Urano’) (Tabela 9).

Em relação à ZB a dinâmica de rendimento de grãos entre as cultivares seguiu uma dinâmica diferente em relação à ZA e ZM. Nesta zona, ‘Ativa’, ‘Júpiter’ e ‘Urano’ se mantiveram dentre os mais produtivos, com 4.202, 4.019, 3.976 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, contudo, ‘Força’ também apresentou altos rendimentos com 4.246 kg ha<sup>-1</sup>. Não obstante ‘5909’ apresentou rendimentos inferiores (3.690 kg ha<sup>-1</sup>), juntamente com ‘CEP 65’ (3.368 kg ha<sup>-1</sup>) para a ZB. Analisando-se os efeitos simples entre as zonas de rendimento pode-se

verificar que as cultivares ‘Ativa’, ‘CEP 65’ e ‘Urano’, não diferiram entre ZA, ZM e ZB, contudo, ‘Urano’ apresentou um rendimento superior para a ZA em relação à ZB (Tabela 9).

A cultivar ‘5909’ por sua vez, apresentou rendimentos superiores para a ZA em relação à ZB de 11,21%, sem, no entanto diferir da ZM. A resposta superior para o ZA, contudo não foi obtida para a cultivar ‘Força’, que obteve rendimentos superiores para a ZB, o qual foi de 14,06% em relação à ZA (Tabela 9). Os resultados revelam, portanto, a existência de uma resposta diferenciada das cultivares, em relação às zonas de rendimento. A cultivar ‘Ativa’ manifestou maior estabilidade produtiva em relação às zonas, não diferindo estatisticamente entre ZA, ZM e ZB em ambas as áreas experimentais (Tabela 9).

**Tabela 9** – Rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

Rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ )							
Área 1							
Zona ( <sup>2</sup> )	Tipo de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	3.936 aAB*	3.179 aC	4.242 aA	4.060 aAB	4.156 aA	3.649bBC	3.870
ZM	4.132 aA	3.473 aB	3.858aAB	3.596 bB	4.166 aA	3.574 bB	3.800
ZB	4.202 aA	3.452 aC	3.976aAB	4.019 aAB	3.690 bBC	4.246 aA	3.931
<b>Média</b>	4.090	3.368	4.025	3.892	4.004	3.823	
Área 2							
ZA	3.936 aA	3.700 aAB	4.324aA	4.020 aA	4.216 aA	3.231 bB	3.905
ZM	3.926 aA	3.351 aA	3.723 bA	3.332 bA	3.878 abA	3.503 abA	3.619
ZB	3.971 aA	3.315 aA	3.742 bA	3.609 abA	3.583 bA	3.794 aA	3.669
<b>Média</b>	3.945	3.455	3.930	3.654	3.893	3.509	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

Resultados análogos, foram observados na área experimental 2, uma vez que a cultivar ‘Força’ também apresentou resposta significativa e superior para a ZB em relação a ZA (Tabela 9). Neste local, a superioridade foi de 14,83%, o que representa  $563 \text{ kg ha}^{-1}$  ou  $9,38 \text{ sacas ha}^{-1}$ . A ZB, porém não diferiu da ZM (Tabela 9). A cultivar ‘5909’ também seguiu a mesma tendência de resposta em relação às zonas conforme a área experimental 1, demonstrando superioridade no rendimento de grãos para a ZA em relação à ZB, a qual foi de 15,01% ou  $638 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 9). Para a área experimental 2 também foi observado efeito significativo das zonas sobre o rendimento de grãos da cultivar ‘Urano’, onde a resposta para

a ZA foi 13,45% em relação a ZB, enquanto que na área 1, apesar de ‘Urano’ ser 6,27% mais produtivo para ZA em relação a ZB, esta diferença não foi estatisticamente significativa (Tabela 9).

Os resultados supracitados reforçam a importância do manejo por ambiente (HÖRBE et al., 2013; SANTI et al., 2014), e confirmam o que já foi salientado por Caliskan et al. (2007) de que não existe um único e determinado manejo para todos os ambientes e para todas as cultivares. Torna-se necessário, portanto, a análise de desempenho das práticas de manejo para cada condição de cultivo, as quais devem ser aplicadas de forma diferenciada mesmo dentro de um pequeno talhão agrícola. Estas práticas associadas a ferramentas de AP já se mostraram altamente promissoras para a cultura do milho (FULTON et al., 2010; HÖRBE et al., 2013) e a partir dos resultados obtidos neste estudo, justificam receber atenção também para a cultura da soja. O ajuste de cultivares por zona de manejo torna-se mais uma ferramenta importante na busca pela maximização do potencial produtivo da cultura da soja dentro de uma mesma área agrícola. Norsworthy e Shipe (2005) complementam essa informação, alertando para a necessidade de se agruparem cultivares que respondam ou não a um determinado manejo, para que estes sejam estão posicionados corretamente nas áreas agrícolas.

O maior rendimento observado para a cultivar ‘Força’ na ZB pode ser explicado pelo número de legumes  $m^{-2}$  (NLEGM<sup>2</sup>) (Tabela 10). Apesar de não ser observada diferença significativa, em média a ZB apresentou superioridade em relação à ZA de 16,40% e 23,04% para a área experimental 1 e 2, respectivamente (Tabela 10). O NLEGM<sup>2</sup> também apresentou uma disposição em relação a cultivar ‘5909’ onde a ZA foi, em média superior a ZB em 11,88% e 7,38%, para a área experimental 1 e 2, respectivamente, contudo também não houve diferença significativa (Tabela 10).

Resultados semelhantes foram descritos por Bárbaro et al. (2006), onde os autores salientam que o número de legumes é um dos componentes que mais explicam o rendimento de grãos, uma vez que refletem diretamente sobre o número de grãos produzidos (BOARD e MARICHERLA, 2008), os quais, segundo Perini et al. (2012), estão diretamente relacionados com máximo rendimento de grão na cultura da soja. Contudo, o número de legumes apresenta elevada relação com o manejo empregado na área (RAMBO et al., 2004, BOARD e MARICHERLA, 2008). Assim, cabe salientar que conforme os resultados obtidos neste trabalho o grau de contribuição do NLEGM<sup>2</sup> sobre o rendimento de grãos pode ser variável em função da cultivar e do ambiente no qual está inserida. Esta afirmação é confirmada pelo fato de ‘Ativa’ apresentar rendimento de grãos superior, porém com menor NLEGM<sup>2</sup>, na área

1. Neste caso, o PMG pode ter sido o componente com maior grau de contribuição (Tabela 13). Tais resultados concordam com Meotti et al. (2012) que salientam que os componentes de rendimento apresentam uma dinâmica de ajustes entre cultivares, a fim de compensar modificações no ambiente, da qual a soja é dependente (THOMAS e COSTA, 2010).

A cultivar ‘Força’ foi a que apresentou a maior estatura em comparação as demais, sendo esta uma característica típica da cultivar (Tabela 2). No entanto, cabe salientar que a mesma apresentou em média, certa redução em sua estatura quando submetida à ZB, na qual apresentou o maior rendimento de grãos. Esta peculiaridade pode estar remetendo a uma estratégia inerente da cultivar, uma vez que quando submetida à ZA a mesma apresentou maior predisposição a produção de MS (Tabela 7), o que reduziu o número de legumes por planta (Tabela 10). Por outro lado, quando submetida à ZB uma dinâmica oposta foi observada, com redução da MS produzida (Tabela 7) e aumento no número de legumes (Tabela 10). Tais constatações reforçam ainda mais a necessidade de se ajustarem as cultivares de soja de acordo com a sua capacidade de resposta ao ambiente.

Em valores médios absolutos, na área experimental 1, as cultivares mais produtivas foram ‘Ativa’ (4.090 kg ha<sup>-1</sup>), ‘Urano’ (4.025 kg ha<sup>-1</sup>) e ‘5909’ (4.004 kg ha<sup>-1</sup>). Na área 2 ‘Ativa’ (3.945 kg ha<sup>-1</sup>) e ‘Urano’ (3.940 kg ha<sup>-1</sup>) se mantiveram superiores em rendimento, seguidos por ‘5909’ (3.893 kg ha<sup>-1</sup>) e ‘Júpiter’ (3.654 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 9). Os menores rendimentos em ambas às áreas foram obtidos para a cultivar ‘CEP 65’ (Tabela 9), e se devem possivelmente ao seu reduzido de NLEGM<sup>2</sup> e ao baixo PMG, comparativamente as demais cultivares (Tabela 10 e Tabela 14).

O número de legumes por planta (NLEGP) foi maior na cultivar ‘5909’ (50,29) e ‘Força’ (45,36) para a área 1, enquanto que para área 2 as cultivares ‘Força’ (47,67), ‘Urano’ (47,51), ‘Ativa’ (40,16) e ‘5909’ (39,81) foram superiores, porém não diferiram entre si (Tabela 10). O NLEGP não diferiu entre as zonas de rendimento (Tabela 10).



**Tabela 10** – Número de legumes por m<sup>2</sup> (NLEGM<sup>2</sup>) e número de legumes por planta (NLEGP) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

----- Número de legumes m <sup>-2</sup> -----							
Área 1							
Tipo de crescimento / Cultivar							
Zona ( <sup>2</sup> )	----- Determinado ( <sup>1</sup> ) -----			----- Indeterminado -----			Média
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	1.165	1.124	1.329	1.037	1.632	1.213	1.250 <sup>ns</sup>
ZM	1.244	1.120	1.194	1.336	1.455	1.145	1.249
ZB	1.084	1.112	1.256	1.368	1.438	1.451	1.285
<b>Média</b>	1.165 B*	1.118 B	1.260 AB	1.247 B	1.508 A	1.270 AB	
Área 2							
ZA	1.328	929	1.269	1.330	1.314	1.122	1.215 <sup>ns</sup>
ZM	1.491	1.288	1.659	1.272	1.052	1.423	1.364
ZB	1.396	1.071	1.348	1.347	1.217	1.458	1.306
<b>Média</b>	1.405 A	1.096 B	1.425 A	1.316 AB	1.194 AB	1.335 AB	
----- Número de legumes por planta -----							
Área 1							
Tipo de crescimento / Cultivar							
Zona	----- Determinado ( <sup>1</sup> ) -----			----- Indeterminado -----			Média
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	33,31	37,47	44,30	29,64	54,41	43,34	40,47 <sup>ns</sup>
ZM	35,56	37,35	39,82	38,17	48,52	40,92	40,06
ZB	30,98	37,07	41,86	39,09	47,94	51,84	40,46
<b>Média</b>	33,28 D	37,29 CD	42,00 BC	35,63 CD	50,29 A	45,36 AB	
Área 2							
ZA	37,95	30,99	42,30	38,02	43,80	40,09	38,86 <sup>ns</sup>
ZM	42,62	42,93	55,30	36,34	35,07	50,84	43,85
ZB	39,90	35,73	44,93	38,49	40,58	52,10	41,95
<b>Média</b>	40,16 AB	36,55 B	47,51 A	37,61 B	39,81 AB	47,67 A	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

A avaliação do número de legumes para haste e ramos de forma separada revelou que a cultivar ‘Força’ apresentou superioridade para a ZB comparativamente a ZM e ZA para o NLEGH, em ambas as áreas experimentais (Tabela 11). Tais resultados elucidam os valores médios superiores observados para o parâmetro NLEGM<sup>2</sup> e NLEGP (Tabela 10). As demais cultivares não diferiram entre as zonas para ambas as áreas experimentais (Tabela 11).

**Tabela 11** – Número de legumes por planta na haste (NLEGH) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

Número de legumes por planta na haste							
Área 1							
Zona	Tipo de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado <sup>(1)</sup>			Indeterminado			
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	24,69 aAB	20,70aB	29,81aA	22,42 aAB	24,33 aAB	22,71bAB	24,11
ZM	26,15 aAB	23,07aAB	24,70aAB	28,79 aA	20,31 aB	21,75bAB	24,13
ZB	22,87 aB	22,51aB	26,60aAB	22,60 aB	18,58 aB	33,53aA	24,45
<b>Média</b>	24,57	22,10	27,04	24,60	21,07	26,00	
Área 2							
ZA	26,89aAB	19,57aC	28,73aAB	29,92aA	21,65 aBC	27,49bAB	25,71
ZM	25,99aBCD	21,76aCD	33,43aA	27,08aABC	19,88 aD	29,07bAB	26,20
ZB	28,41aBC	18,48aD	30,63aA	29,48aB	21,75 aCD	37,87aA	27,77
<b>Média</b>	27,10	19,94	30,93	28,83	21,09	31,48	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

<sup>(1)</sup> Tipo de hábito de crescimento;

<sup>(2)</sup> Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

Para a ZA (área 1) o menor NLEGH ocorreu na cultivar ‘CEP 65’, enquanto que as demais cultivares não diferiram entre si. Na ZB somente ‘Força’ e ‘Urano’ foram superiores com um NLEGH de 33,53 e 26,60, respectivamente. Para a área 2, na ZA a mesma tendência foi observada, sendo o menor NLEGH obtido na cultivar ‘CEP 65’, seguido de ‘5909’, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Para ZB, ‘Força’ e ‘Urano’ se mantiveram superiores (Tabela 11).

O NLEGR não apresentou interação significativa entre zonas e cultivares, possivelmente em função do elevado CV (%) obtido para esta variável, que foi de 25,66% para a área experimental 1 e de 34% para a para a área experimental 2 (Tabela 5). Os efeitos principais revelaram que a cultivar ‘5909’ foi a que apresentou os maiores valores para o NLEGR (Tabela 12), especialmente para área 1, uma vez que para a área 2, a mesma não diferiu de ‘CEP 65’, ‘Urano’ e ‘Força’.

Tais resultados ratificam que a cultivar ‘5909’ apresenta grande potencial de ramificação (NIDERA SEMENTES, 2014) e que grande parte do seu potencial produtivo se deve a contribuição do NLEGR. Uma dinâmica diferente foi observada para as cultivares ‘Ativa’ e ‘Júpiter’ onde o NLEGR apresentou-se menor em relação ao NLEGH. Este fato se deve ao menor potencial de ramificação destas cultivares comparativamente ao ‘5909’ (Tabela 2). O menor potencial de ramificação, no entanto, é uma variável que nem sempre expressa uma relação linear com o potencial produtivo das cultivares de soja, uma vez que os

maiores rendimentos podem estar atribuídos também a outros componentes, como é o caso do peso de grãos (NAVARRO JUNIOR e COSTA, 2002; THOMAS e COSTA, 2010).

**Tabela 12** – Número de legumes por planta nos ramos (NLEGR) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

Número de legumes nos ramos							
Área 1							
Zona ( <sup>2</sup> )	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			Média
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	8,61	16,76	14,49	7,21	30,08	20,63	16,30 <sup>ns</sup>
ZM	9,40	14,28	15,12	9,39	28,21	19,16	15,92
ZB	8,10	14,55	15,26	16,49	39,36	18,30	17,01
<b>Média</b>	8,70 D*	15,19 BC	14,95 BC	11,03 CD	29,22 A	19,36 B	
Área 2							
ZA	11,06	11,41	13,57	8,09	22,14	12,60	12,13 b
ZM	16,63	21,17	21,87	9,25	15,18	21,77	17,64 a
ZB	11,48	17,25	14,30	9,01	18,82	14,22	14,63 ab
<b>Média</b>	13,06 AB	16,61 A	16,58 A	8,78 B	18,71 A	16,19 A	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

Tal afirmação pode ser confirmada para as cultivares ‘Ativa’ e ‘Júpiter’ os quais apresentaram PMG superior os demais, sem diferir, no entanto de ‘5909’ para área 1. Para a área 2 ‘Ativa’ também manteve-se com as maiores médias de PMG, sem diferir de ‘5909’ (Tabela 13). ‘Força’ e ‘CEP 65’ apresentaram o menor PMG comparativamente as demais cultivares e em ambas as áreas experimentais, o que pode estar justificando os menores rendimentos médios obtidos. Segundo Navarro Junior e Costa (2002) o peso de grãos é um componente com elevada contribuição para o rendimento. Tais resultados concordam com os obtidos por Ludwig et al. (2010), onde os autores concluíram que o rendimento de grãos de duas cultivares de soja esteve diretamente relacionado ao peso de grãos, onde as mais e menos produtivas apresentaram o maior e o menor peso de grãos, respectivamente. Os resultados também vão de encontro ao observado por Rambo et al. (2004) que verificou que o maior rendimento de grãos da cultivar BRS 137 foi resultado do maior peso de grãos, o qual foi beneficiado pelo regime de irrigação.

**Tabela 13** – Peso de mil grãos (PMG) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

Peso de mil grãos							
Área 1							
Zona ( <sup>2</sup> )	Tipo de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	147,86	129,60	142,43	141,66	143,60	119,80	137,49 b
ZM	148,90	123,33	133,10	153,13	154,90	134,83	141,36ab
ZB	151,30	127,83	138,66	155,86	158,00	131,40	143,84 a
<b>Média</b>	149,35A*	126,92 C	138,06 B	150,22 A	152,16 A	128,67BC	
Área 2							
ZA	146,90	133,53	146,83	138,80	149,70	126,33	140,35 <sup>ns</sup>
ZM	155,83	136,00	148,96	137,70	148,65	122,43	141,59
ZB	149,23	131,90	139,26	144,86	148,30	128,33	140,31
<b>Média</b>	150,65 A	133,81 CD	145,02AB	140,45 BC	148,88 AB	125,70 D	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

‘Ativa’ e ‘Júpiter’ também apresentaram valores satisfatórios de NGL (Tabela 14), o que também pode ter contribuído para o rendimento de grãos. A cultivar ‘Força’ também esteve entre as cultivares com maior NGL, porém conforme salientado anteriormente, o seu PMG foi baixo o que tornou o seu rendimento médio inferior as demais cultivares.

**Tabela 14** – Número de grãos por legume (NGL) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

Número de grãos por legume							
Área 1							
Zona ( <sup>2</sup> )	Tipo de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			
	Ativa	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	2,31 aABC	2,19 abBC	2,17 aC	2,38 aA	2,35 aAB	2,39 aA	2,30
ZM	2,40 aA	2,11 bB	2,12 aB	2,26 aAB	2,14 bB	2,43 aA	2,24
ZB	2,33 aAB	2,29 aAB	2,20 aB	2,31 aAB	2,31 aAB	2,42 aA	2,31
<b>Média</b>	2,34 AB	2,20 C	2,16 C	2,32 AB	2,27 BC	2,41 A	
Área 2							
ZA	2,35 bA	2,34 bAB	2,17 aB	2,30 bA	2,44 aA	2,39 aA	2,34
ZM	2,45 abAB	2,40 abAB	2,23 aC	2,52 aA	2,31 abBC	2,42 aAB	2,39
ZB	2,50 aA	2,48 aA	2,20 aC	2,48 aA	2,29 bBC	2,45 aAB	2,40
<b>Média</b>	2,43	2,41	2,20	2,45	2,35	2,41	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

Por outro lado, quando o menor PMG foi compensado pelo maior NLP e associado ao NGL, obtiveram-se ganhos no rendimento de grãos. Os resultados reafirmam o fato de que as cultivares de soja ajustam os seus componentes de produção em função do manejo (FERREIRA JUNIOR. et al., 2010; THOMAS e COSTA, 2010; MEOTTI et al., 2012; LUCA e HUNGRIA, 2014), e que existe uma dinâmica diferenciada para cada uma delas (MEOTTI et al., 2012). Bizeti et al. (2004) salientam que algumas cultivares podem até mesmo alterar o NGL, sem no entanto, provocar alterações significativas sobre o rendimento de grãos.

O índice de colheita, que confere a relação entre a matéria seca de grãos produzidos e a matéria seca total da planta, não apresentou interação significativa entre zonas e cultivares, de igual forma que não se obtiveram diferenças para os efeitos principais entre as zonas de rendimento. As cultivares, no entanto, diferiram entre si (Tabela 15).

**Tabela 15** – Índice de colheita (IC) de seis cultivares de soja em diferentes zonas de rendimento de grãos (alto, médio e baixo).

Índice de colheita							
Área 1							
Zona ( <sup>2</sup> )	Tipo de crescimento / Cultivar						Média
	Determinado ( <sup>1</sup> )			Indeterminado			
	Ativa ( <sup>3</sup> )	CEP 65	Urano	Júpiter	5909	Força	
ZA	0,51	0,46	0,50	0,52	0,47	0,46	0,49 <sup>ns</sup>
ZM	0,58	0,46	0,49	0,53	0,50	0,45	0,50
ZB	0,57	0,46	0,50	0,52	0,51	0,47	0,50
<b>Média</b>	<b>0,55 A*</b>	<b>0,46 C</b>	<b>0,50 BC</b>	<b>0,52 AB</b>	<b>0,49 BC</b>	<b>0,46 C</b>	
Área 2							
ZA	0,52	0,44	0,44	0,55	0,47	0,47	0,48 <sup>ns</sup>
ZM	0,53	0,45	0,59	0,57	0,47	0,48	0,51
ZB	0,53	0,48	0,46	0,57	0,50	0,44	0,50
<b>Média</b>	<b>0,53 AB</b>	<b>0,46 C</b>	<b>0,50 ABC</b>	<b>0,56 A</b>	<b>0,48 BC</b>	<b>0,46 C</b>	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ );

(<sup>1</sup>) Tipo de hábito de crescimento;

(<sup>2</sup>) Sendo: ZA= alto rendimento; ZM= médio rendimento e ZB= baixo rendimento;

(<sup>3</sup>) Cultivar de soja

O maior IC foi obtido para ‘Ativa’ e ‘Júpiter’ em ambas as áreas experimentais, porém para área 2 estes não diferiram de ‘Urano’. ‘Força’ e ‘CEP 65’ por sua vez, resultaram com o menor IC (Tabela 15). ‘Ativa’ e ‘Júpiter’ foram as cultivares que em média apresentaram o menor IAF, porém um satisfatório PMG. Isso pode estar indicando uma maior eficiência destas cultivares na translocação dos produtos da fotossíntese para órgãos reprodutivos, como é o caso dos grãos, considerados partes economicamente mais importantes para a

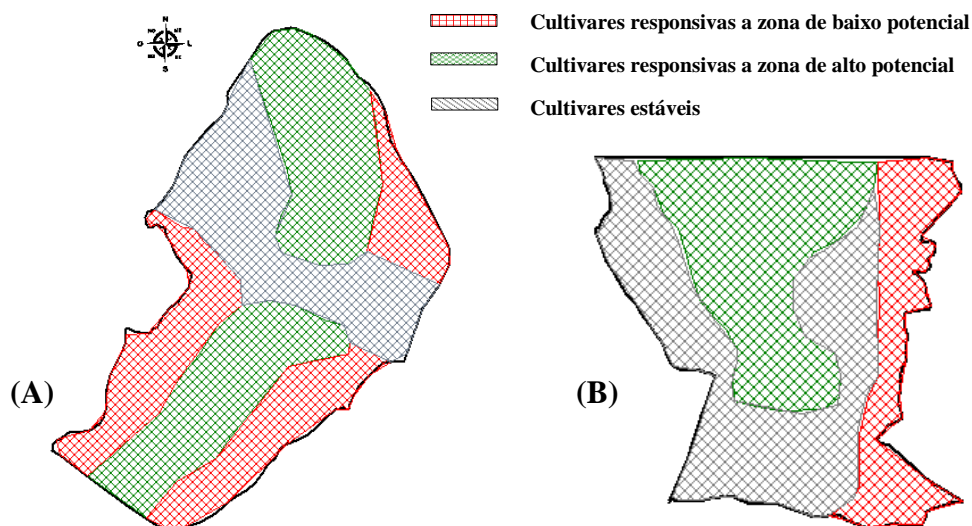
produtividade agrícola. Tais constatações podem estar indicando ainda que elevados valores de IAF, não devem ser considerados isoladamente como fatores determinantes do rendimento de grãos, uma vez que ele depende não só da capacidade das cultivares em interceptarem a radiação solar, mas também da sua capacidade e dinâmica em acumular matéria seca durante o estágio vegetativo e o reprodutivo (HEIFFIG et al., 2006). Estas hipóteses são alicerçadas com base no IAF crítico, descrito como um valor de IAF onde a interceptação atinge cerca de 95% da radiação solar incidente (3,5 - 4,0 para a cultura da soja) e que ocorre entre os estádios R1 e R2 (BOARD e HARVILLE, 1992; BOARD e HARVILLE, 1994; PIRES et al., 1998). Assim, cultivares que priorizam um IAF muito elevado, podem, em algum momento, demandar por elevados gastos de energia para sua manutenção, o que pode penalizar o rendimento de grãos.

A cultivar ‘Força’ obteve IC inferior aos demais o que pode estar relacionado à sua maior estatura e ao seu baixo PMG, componente que também justifica o menor IC obtido para ‘CEP 65’ (Tabela 15). Trabalhos pioneiros em relação ao IC em cultivares de soja no estado do Rio Grande do Sul (RS) foram conduzidos durante o final da década de 70 e início da década de 80 por Colasante e Costa (1981) e Braga e Costa (1983) e revelaram a existência de correlações negativas entre o IC, a estatura de plantas e o peso seco de grãos. Correlações negativas do IC em relação ao peso do grão também foram observadas por Perini et al. (2012) o que é justificado pelo fato de que à medida em que há aumento no número de grãos por planta, a massa individual destes diminui (PERINI et al., 2012). No entanto, tal relação não foi constatada neste estudo, uma vez que ‘Ativa’ e ‘Jupiter’ apresentaram um menor número de legumes férteis por planta, que culminou em maior PMG. Estes resultados sugerem que o IC é muito variável entre as cultivares de soja.

Deste modo, o IC apresentou relação com o rendimento médio das cultivares ‘Ativa’, ‘Jupiter’, ‘Força’ e ‘CEP 65’ e por isso os resultados sugerem que tais relações sejam estabelecidas para cada cultivar, de forma individual. Estes resultados concordam com o trabalho precursor de conduzido por Braga e Costa (1983) de que as análises conjuntas envolvendo cultivares de diferentes grupos de maturação ou tipos de crescimento mostram-se inadequadas. Tais resultados são reafirmados em trabalhos recentes conduzidos por Perini et al. (2012) onde os autores constataram que o uso do IC como parâmetro para altos rendimentos para todas as cultivares de soja pode levar ao equívoco.

Os resultados apresentados revelaram a importância da adoção de um plano de manejo inteligente (PMI) por ambiente de produção para a cultura da soja, e demonstraram a importância do uso de mapas de colheita como a ferramenta adequada para a definição dessas

zonas. Os resultados confirmam que as cultivares de soja apresentam estratégias peculiares em relação à expressão do seu potencial de rendimento de grãos e de que existem cultivares que apresentam maior estabilidade quando submetidas a diferentes ambientes de produção, enquanto outras apresentam respostas mais pronunciadas, sejam elas favoráveis ou não. Deste modo, o posicionamento de cultivares de soja por ambiente, surge como uma nova ferramenta a ser investigada dentro da AP, podendo contribuir para a maximização da eficiência produtiva da cultura. Esta técnica pode ser entendida como um novo conceito de semeadura envolvendo “multi-cultivares”. Uma proposta alternativa para as áreas experimentais é apresentada na Figura 4.



**Figura 4** – Modelo teórico de um plano de manejo inteligente (PMI) para as áreas experimentais 1 (A) e 2 (B) utilizando um sistema “multi-cultivares” de soja em função de sua resposta as zonas de rendimento de grãos.

Apesar de algumas cultivares se mostrarem mais estáveis e em média mais produtivas que outras, independente da zona de rendimento, é importante salientar que os produtores rurais dificilmente utilizam uma única cultivar em todas as suas áreas. Estas decisões são procedidas visando à redução de riscos em relação à perda de safras (por condições climáticas adversas), escalonamento da colheita e também em virtude dos elevados custo de produção de algumas cultivares. Uma vez que os produtores quase que em sua totalidade utilizarão várias cultivares para o respectivo ano agrícola, é importante que posicionem as mesmas de acordo com a sua resposta ao ambiente. Este posicionamento correto poderá resultar em acréscimo na produção e em maior rentabilidade para a propriedade.

#### 4.6 Conclusões

A cultivar BMX Força RR apresentou maior rendimento de grãos na zona de baixo potencial e a cultivar NA 5909 RG foi mais produtiva em zonas de alto e médio potencial.

BMX Ativa RR foi em média a cultivar mais produtiva e mais estável em função das zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos.

Não foi possível constatar desempenho diferenciado das cultivares em função do seu tipo de crescimento (determinado ou indeterminado);

O posicionamento de cultivares em função das zonas com diferentes potenciais de rendimento de grãos é uma prática que pode contribuir para o aumento da eficiência produtiva na cultura da soja e pode ser entendida como um novo conceito de semeadura envolvendo “multi-cultivares”.

#### 4.7 Agradecimentos

Ao Sr. Eliseu José Schaedler e ao Sr. Carlos Eduardo Dauve, pela disponibilização das áreas para o estudo (Fazenda Vila Morena) e por todo o apoio, prestatividade, amizade e incentivo incondicional a pesquisa. A toda a equipe do Laboratório de Agricultura de Precisão – LAPSUL, pelo auxílio durante a condução dos experimentos. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

#### 4.8 Referências Bibliográficas

AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A. L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n.89, p.34-42, 2005.

BÁRBARO, I. M.; CENTURION, M. A. P. C.; DI MAURO, A. O.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; ARRIEL, N. H. C.; COSTA, M. M. Path analysis and expected response in indirect selection for grain yield in soybean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 6, n. 2, p. 151-159, 2006.



BASTIDAS, A. M.; SETIYONO, T. D.; DOBERMANN, A.; CASSMAN, K. G.; ELMORE, R.W.; GRAEF, G. L.; SPECHT, J. E. Soybean sowing date: the vegetative, reproductive, and agronomic impacts. **Crop Science**, v.48, p.727-740, 2008.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: Funep, 2003. 41p.  
BIZETI, H. S.; CARVALHO, C. G. P.; SOUZA, J. R. P.; DESTRO, D. Path analysis under multicollinearity in soybean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 5, p. 669-676, 2004.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 4, p. 455- 466, 2003.

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

BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. Explanations for greater light interception in narrow vs. wide-row soybean. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 1, p. 198-202, 1992.

BOARD, J. E.; MARICHERLA, D. Explanation for decreasead harvest index with increased yield in soybean. **Crop Siencie**, v.48, p.1995-2002, 2008.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CALISKAN, S.; ARSLAN, M.; UREMIS, I.; CALISKAN, M. E. The effects of row spacing on yield and yield components of full season and double-cropped soybean. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 31, n. 3, p. 147-154, 2007.

CATUCHI, T. A; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 519-527, 2012.

CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 613-620, 2012.

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

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos, safra 2013/2014**. Décimo Segundo Levantamento - Setembro/2014. v. 1, n. 2, 2014.

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L. de; FARIA, R. T. de; GONSALVES, A. C. A.; REZENDE R.; BERTONHA, A. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação das melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 28, n. 04, p. 583-589, 2006.

DELLA FLORA, L. P. **Variabilidade espacial de componentes morfológicos e de produtividade da cultura de soja e suas relações com atributos químicos do solo**. 2013. Tese de doutorado (Fitotecnia) – Universidade de São Paulo / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

DIACONO, M.; CASTRIGNANO, A.; VITTI, C.; STELLACCI, A. M.; MARINO, L. COCOZZA, C.; BENEDETTO, D. DE; TROCCOLI, A.; RUBINO, P.; VENTRELLA, D. An approach for assessing the effects of site-specific fertilization on crop growth and yield of durum wheat in organic agriculture. **Precision Agriculture**, v. 15, p. 479-498, 2014.

DONALD, C. M. In search of yield. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, v. 28, p. 171-178, 1962.

EDWARDS, J. T.; PURCELL, L. C.; KARCHER, D. E. Soybean yield and biomass responses to increasing plant population among diverse maturity groups: II. Light interception and utilization. **Crop Science**, v. 45, p. 1778–1785, 2005.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2007**. Sistemas de produção 11. Embrapa Soja, Londrina, 225 p., 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**, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special report, 80).

FERREIRA JUNIOR, J. A.; ESPINDOLA, S. M. C. G.; GONÇALVES, D. A. R.; LOPES, E. W. Avaliação de genótipos de soja em diferentes épocas de plantio e densidade de semeadura no município de Uberaba – MG. **FAZU em Revista**, n.7, p. 13-21, 2010.

FREITAS, M. C. M.; HAMAWAKI, O. T.; BUENO, M. R.; MARQUES, M. C. Época de semeadura e densidade populacional de linhagens de soja UFU de ciclo semitardio. **Bioscience Journal**, v.26, n.5, p.698-708, 2010.

FULTON, J. P.; WINSTEAD, A.; SHAW, J. N.; RODEKHOR, D.; BRODBECK, C. J. A case study for variable-rate seeding of corn and cotton in the Tennessee valley of Alabama. In: **10th International Conference on Precision Agriculture**, 2010.

GIMENEZ, L. M. Resposta da soja em função da textura do solo na semeadura com população variada. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP/2012, Ribeirão Preto - SP, Brasil. **Anais...** Ribeirão Preto: ConBAP, 2012.

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.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2115-2126, 2011.

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

HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.14, p. 450-465, 2013.

JIANG, Y.; WU, C.; ZHANG, L.; HU, P.; HOU, W.; ZU, W.; HAN, T. Long-day effects on the terminal inflorescence development of a photoperiod-sensitive soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] variety. **Plant Science**, v.180, p. 504-510, 2011.

KUSS, R. C. R.; KÖNIG, O.; DUTRA, L. M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIA, S.; STURMER, G. R. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 3, p. 181-187, 2014.

LUDWIG, M. P.; DUTRA, L. M. C.; FILHO, O. A. L.; ZABOT, L.; UHRY, D. LISBOA, J. I. Produtividade de grãos da soja em função do manejo de herbicida e fungicidas. **Ciência Rural**, v. 40, n. 7, p. 1516-1522, 2010.

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

MARTINS, M. C.; CÂMARA, G. M. S.; PEIXOTO, C. P. MARCHIRI, L. F. S. LEONARDO, V.; MATTIAZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 851-858. 1999.

MEOTTI, G. V.; BENIN, B.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 14-21, 2012.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ V., V. H; BARROS, N. F; CANTARUTTI, R. B (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa – MG, p.66-90, 2007.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOLIN, J. P. MASCARIN, L. S.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de população de milho. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.528-536, 2006.

NAVARRO 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. 269-274, 2002.

NIDERA SEMENTES. **Cultivares de soja licenciadas – Safra sul 2013/2014**. Disponível em: <[http://www.niderasementes.com.br/produto\\_visualizar\\_arquivo\\_pdf.aspx?id=186](http://www.niderasementes.com.br/produto_visualizar_arquivo_pdf.aspx?id=186)>. Acesso em: 16 dez. 2014.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, B. H.; TEIXEIRA, R. C. **Morfologia, crescimento e desenvolvimento**. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenias, 2009. p. 7-16.

NORSWORTHY, J. K.; SHIPE, E. R. Effect of row spacing and soybean genotype on mainstem and branch yield. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p. 919-923, 2005.

PEAKE, A, ROBERTSON, M. J.; BIDSTRUP, R. Optimising maize plant population and irrigation strategies on the Darling Downs using the APSIM crop simulation model. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. v. 48, p. 313–325, 2008.

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2531-2544, 2012.

PIRES, J. L. F.; COSTA J. A.; THOMAS A. L.; MAEHLER, A. R. Efeitos de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1541-1547, 2000.

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

PROCÓPIO, S. O; BALBINOT JUNIOR, A. A., DEBIASI, H., FRANCHINI, J. C., PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. **Revista Agroambiente**, v. 8, n. 2, p. 212-221, 2014.

RAMBO L.; COSTA J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, p. 405-411, 2003.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, p. 33-40, 2004.

REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 39., Passo Fundo, 2012. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012a. 142 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 107).

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUIZ, J. S. da. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHETTI, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v. 79, p. 39-51, 2002.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Agrária**, v. 8, n. 3, p. 510-515, 2013.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, D. P.; CASTRO, D. M.; DELLA FLORA, L. P. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 1, p. 16-23, 2014.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SETIYONO, T.D.; WEISS, A.; SPECHT, J.; BASTIDAS, A.M.; CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A. Understanding and modeling the effect of temperature and day length on soybean phenology under high-yield conditions. **Field Crops Research**, v. 100, p. 257-271, 2007.

SHIRATSUCHI, L. S.; FACCIONI, G. C.; QUEIROS, L. R. **Classificação não-supervisionada no delineamento de zonas de manejo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 16p. (Documentos, 150).

STRIEDER, M. L.; PIRES, J. L. F.; COSTAMILAN, L. M.; FAGANELLO, A.; VARGAS, L.; BERTAGNOLLI, P. F.; CORASSA, G. M. **Rendimento de grãos de soja em diferentes arranjos de planta, safra 2012/2013 2013**. Documentos online 145 (Boletim de pesquisa e desenvolvimento), 2013.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 895-905, 2011.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos**. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Ed.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.13-33.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F. **Estabelecimento da lavoura de soja**. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Ed.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.127-140.

TOLEDO, N. T.; MULLER, A. G.; BERTO, J. L.; MALLMANN, C. E. S. Ajuste do modelo fototérmico de estimativa do desenvolvimento e do índice de área foliar de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 288–295, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

WANG, Y. P.; SHEN, Y. Identifying and characterizing yield limiting soil factors with the aid of remote sensing and data mining techniques. **Precision Agriculture**, v. 16, p. 99-118, 2015.

WATANABE, S.; HARADA, K.; ABE, J. Genetic and molecular bases of photoperiod responses of flowering in soybean. **Breeding Science**, v. 61, p. 531-543, 2012.

## 5 DISCUSSÃO

O uso de mapas de colheita pode ser considerado uma ferramenta indispensável em propriedades rurais que almejam aumentar a rentabilidade de suas áreas de produção, bem como, que desejam fazer o uso de ferramentas de AP de forma racional, reduzindo os custos de produção por meio do uso de insumos e maximizando o rendimento das culturas por meio de intervenções pontuais e eficientes. A análise criteriosa de uma série histórica de mapas de colheita, conforme realizado no Artigo I, foi capaz de revelar de forma mais tangível a dinâmica espacial do rendimento ao longo das safras, evidenciando, por exemplo, o comportamento em anos considerados satisfatórios ou insatisfatórios ao desenvolvimento das respectivas culturas.

Os mapas de colheita ganham ainda mais relevância dentro da AP, uma vez que permitiram demonstrar locais com diferentes potenciais de rendimento de grãos (baixos, médios e altos) e que se mantêm estáveis ao longo dos anos. Desta forma, os mapas de colheita foram capazes de orientar a investigação na busca por atributos associados ao rendimento das culturas. Em virtude disso, propriedades que já evoluíram no uso das ferramentas de AP (amostragem de solo, taxa variável de insumos) e que ainda assim continuam observando variações espaciais no rendimento de grãos, podem agora direcionar suas atenções para um manejo mais sistemático e detalhista, de acordo com os ambientes de produção. Uma amostragem sistemática do solo, conforme realizada no Artigo II, seguida de uma análise criteriosa, como é o caso do emprego de métodos estatísticos multivariados, evidenciou ser capaz de contribuir para que sejam elucidadas maiores dúvidas ou suspeitas em relação a atributos químicos e físicos do solo, potencialmente limitantes ao rendimento de grãos.

Os resultados obtidos no Artigo II foram capazes de revelar a existência de fatores que necessitam ser manejados de forma pontual, como a calagem, a fertilização fosfatada e a fertilização potássica. Além disso, alguns dos fatores observados se apresentaram como de difícil governabilidade em curto prazo, como a matéria orgânica, ou não alterável, como foi o caso da textura do solo (argila). A existência de fatores de difícil manejo revela que para a maximização do rendimento das culturas no espaço, se faz necessário um manejo diferenciado por ambiente de produção, ou seja, o emprego de técnicas diferenciadas de acordo com as zonas de rendimento (zonas de manejo).



O posicionamento de cultivares de soja de acordo com as zonas de rendimento, realizado no Artigo III confirmou tal hipótese, revelando que a prática pode contribuir para a maximização da eficiência produtiva na cultura da soja. As zonas influenciaram o rendimento de grãos e de massa seca de algumas cultivares, bem como seus respectivos componentes de rendimento. Conforme constatado, a cultivar BMX Força RR apresentou o seu maior rendimento de grãos nas zonas de baixo potencial, enquanto que NA 5909 RR, foi mais produtiva em zonas de alto e médio potencial. A cultivar BMX Ativa RR foi em média a mais produtiva e mais estável em função das zonas, apresentando o maior peso de mil grãos.

Apesar dos desempenhos distintos entre cultivares, não foi possível constatar influência do tipo de crescimento (determinado ou indeterminado). Considerando-se que os produtores rurais dificilmente utilizam uma única cultivar de soja em um respectivo ano agrícola, como uma forma de reduzir os riscos sobre a produção e de escalonar a colheita, é importante que posicionem as mesmas de acordo com a sua resposta ao ambiente.

Os desempenhos necessitam ser estudados para outras cultivares de soja, no entanto, como critério inicial, parece haver uma disposição de que cultivares com alto teto produtivo, porém de maior estatura, apresentem melhor desempenho em zonas de baixo potencial e que cultivares de alto teto produtivo e de menor porte sejam mais produtivas em zonas de médio e alto potencial. Caso o produtor opte por utilizar apenas uma cultivar, o mesmo deve optar por cultivares mais estáveis quanto ao seu rendimento de grãos. Esta nova técnica de manejo pode ser entendida como um novo conceito de semeadura envolvendo “multi-cultivares”.

Os resultados obtidos reforçam a importância do uso de ferramentas de AP em áreas agrícolas e revelam, portanto, que o manejo por ambiente, tanto de atributos de solo quanto de planta é uma ferramenta altamente eficaz em áreas eficientemente manejadas e que já evoluíram no uso de ferramentas de AP. Deste modo, os dados concordam com outros trabalhos já descritos na literatura (AMADO et al., 2009; GIRARDELLO et al., 2011; GIMENEZ, 2012; EITELWEIN, 2013; HÖRBE et al., 2013; SANTI et al., 2013; SANTI et al., 2014). Em áreas ditas de como de fertilidade construída e consideradas com elevada qualidade do solo, têm-se a possibilidade de se realizarem amostragens sistemáticas de solo, bem como, posicionarem-se cultivares de soja em função do ambiente agrícola.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. **Using precision farming to overcome yield-limiting factors in Southern Brazil Oxisols: A case study.** In D. CLAY, J. SHANAHAN; J. FRANCIS PIERCE (Eds.), *GIS Applications in Agriculture - Nutrient Management for Improved Energy Efficiency*, v. 3. 3ª ed., p. 31–60. CRC: Boca Raton, 2011.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 831-843, 2009.

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

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, A. I.; AMARAL, J. R. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Revista Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 97-111, 1997.

BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 26, p. 37–51, 2000.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; MENEGOL, D. R.; DA ROS, C. O.; PIAS, O. H. de C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3, p.425-432, 2014.

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) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

GIMENEZ, L. M. Resposta da soja em função da textura do solo na semeadura com população variada. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP/2012, Ribeirão Preto - SP, Brasil. **Anais...** Ribeirão Preto: ConBAP, 2012.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos

deum Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2115-2126, 2011.

HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.14, 450-465, 2013.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Universidade Federal de Viçosa, p. 237-258, 2000.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1346-1357, 2012a.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Agrária**, v. 8, n. 3, p. 510-515, 2013.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, L. P.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T. Infiltração de água no solo, determinada por diferentes métodos, como indicador do potencial produtivo em dois latossolos manejados com agricultura de precisão. **Interciencia**, v. 37, n. 3, 204-208, 2012b.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, D. P.; CASTRO, D. M.; DELLA FLORA, L. P. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 1, p. 16-23, 2014.

SANTOS, A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J. F. L.; YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 88-95, 2001.

SUSZEK, G. ; SOUZA, E. G. ; URIBE-OPAZO, M. A. ; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 895-905, 2011.