

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Francisco Giraldi

**PRODUTIVIDADE DE SOJA EM DIFERENTES POPULAÇÕES DE  
PLANTAS E SÍTIOS ESPECÍFICOS DE MANEJO EM SEMEADURA  
APÓS A ÉPOCA INDICADA**

Santa Maria, RS  
2016

**Francisco Giraldi**

**PRODUTIVIDADE DE SOJA EM DIFERENTES POPULAÇÕES DE PLANTAS E  
SÍTIOS ESPECÍFICOS DE MANEJO EM SEMEADURA APÓS A ÉPOCA  
INDICADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção ao grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Luciano Zucuni Pes

Santa Maria, RS  
2016

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

Giraldi, Francisco  
PRODUTIVIDADE DE SOJA EM DIFERENTES POPULAÇÕES DE  
PLANTAS E SÍTIOS ESPECÍFICOS DE MANEJO EM SEMEADURA APÓS  
A ÉPOCA INDICADA / Francisco Giraldi.- 2016.  
72 p.; 30 cm

Orientador: Luciano Zucuni Pes  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2016

1. Agricultura de precisão 2. População de plantas de  
soja 3. Componentes de rendimento da soja I. Pes,  
Luciano Zucuni II. Título.

**Francisco Giraldi**

**PRODUTIVIDADE DE SOJA EM DIFERENTES POPULAÇÕES DE PLANTAS E  
SÍTIOS ESPECÍFICOS DE MANEJO EM SEMEADURA APÓS A ÉPOCA  
INDICADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção ao grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

**Aprovada em 18 de março de 2016**

---

**Luciano Zucuni Pes, Dr. (UFSM)**  
**(Presidente/Orientador)**

---

**Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UFSM)**

---

**Marcos Paulo Ludwig, Dr. (IFRS/Ibirubá)**

**Santa Maria, RS**  
**2016**

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico esse trabalho a todos aqueles que estiveram ao meu lado nos  
mais diversos momentos da minha trajetória acadêmica.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter colocado em meu destino as experiências vividas até o momento, me ajudando em cada tropeço, dando forças para recomeçar.

A minha família, que é meu porto seguro, meus exemplos e meu maior tesouro. Aos meus pais, Adriana Maria Giraldi e Aristides Antônio Giraldi, que com muito trabalho, dedicação e carinho, me conduziram pelos caminhos da vida. As minhas irmãs, Adrieli Giraldi e Francieli Giraldi, que sempre estão ao meu lado, me apoiando e ajudando.

A minha companheira Denise Ferreira da Rosa, que me ajudou em todas as etapas desse processo, da contagem do experimento até a escrita do trabalho final. Meu amor e admiração por você é cada vez maior.

Ao meu orientador e amigo, Luciano Zucuni Pes, que não mediu esforços em me ajudar a obter essa conquista. Leverei comigo seus conselhos e exemplos de integridade e honestidade.

Ao Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão, em especial o professor e amigo Elódio Sebem e o secretário Juliano Molinos de Andrade, pela dedicação com o Programa e com os alunos.

Ao Setor de Mecanização e Culturas Anuais do Colégio Politécnico da UFSM, aos bolsistas Adílio da Ronch, Amanda Antonini, Anicéli Lautenchleger, Bruno Schavetock, Alex Secretti, Marcos Bortoluzzi, Marcio Kreutz, Mateus Martins e ao Engenheiro Agrônomo Vilson Benz, que apoiaram e ajudaram na instalação e condução do experimento.

A minha banca de defesa, professor Marcos Paulo Ludwig e professor Jackson Fiorin, que com suas contribuições engrandeceram e atribuíram qualidade ao trabalho final.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Colégio Politécnico da UFSM, que disponibilizaram a estrutura e o recursos para a execução do projeto.

## EPÍGRAFE

*“Eu vivo assim desta terra ou do que sei sobre ela,  
Pedaço meu deste mundo que vai além da cancela...  
Aprendi muito com a terra entre o saber e a razão  
Que é preciso ter quem plante para ter alguém que faça o pão,  
Que é preciso campo e tropa e a mão da natureza  
Para que o povo que trabalha, tenha boia sobre a mesa...  
Por isso que sou da terra, no que a palavra permite.  
Me vou até onde posso, mas reconheço um limite  
Onde o mundo é bem maior do que uns vêm da janela  
Para quem vive desta terra ou do que aprende com ela...”*

*(Trecho da música Desta Terra – Nilton Ferreira)*

## RESUMO

### **PRODUTIVIDADE DE SOJA EM DIFERENTES POPULAÇÕES DE PLANTAS E SÍTIOS ESPECÍFICOS DE MANEJO EM SEMEADURA APÓS A ÉPOCA INDICADA**

AUTOR: Francisco Giraldi

ORIENTADOR: Luciano Zucuni Pes

A soja constitui-se em um dos principais cultivos da agricultura brasileira e mundial, com relevante papel socioeconômico. No Brasil, atualmente, as cultivares de soja apresentam potencial produtivo cada vez maior, além de tecnologia avançada para a produção de grãos e sementes. O potencial produtivo da soja é determinado geneticamente, porém os fatores ambientais são responsáveis por limitar o teto produtivo. Fatores como altitude, latitude, textura, fertilidade do solo, época de semeadura e população de plantas são fundamentais para a expressão do potencial genético. As ferramentas da agricultura de precisão visam dar suporte às atividades rurais, gerando informações da variabilidade espacial e temporal que afeta a produtividade das culturas. Desta maneira podemos tratar diferenciadamente partes da mesma lavoura, usando de forma eficiente e sustentável os insumos da produção agrícola. O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento de plantas de soja em diferentes populações e zonas de manejo. Foram utilizadas duas cultivares de soja, a NIDERA 6411 e a TEC IRGA 6070, com populações recomendadas de 31 e 28 plantas por metro quadrado, respectivamente. As populações utilizadas foram de 25 e 50% para mais e para menos do que o recomendado, totalizando cinco tratamentos para cada cultivar. O delineamento foi um bifatorial inteiramente casualizado em cada zona de manejo. Foram avaliadas as seguintes variáveis: peso de 1000 grãos, produtividade, número de legumes por planta, número de legumes por metro quadrado e altura de planta. O experimento foi conduzido em área experimental do Colégio Politécnico da UFSM, no ano de 2015, após a época recomendada de plantio, no período conhecido como safrinha. Os resultados das variáveis foram submetidos à análise de variância e regressão e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Em plantio após época recomendada, as maiores produtividades foram obtidas pelo aumento da população de plantas. Nas zonas de alta e de média produtividade, a cultivar NIDERA 6411, na população de 38 e de 42 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente, apresentou a máxima eficiência técnica. Já na zona de baixa produtividade, a cultivar TEC IRGA 6070, na população de 47 plantas  $m^{-2}$ , apresentou a máxima eficiência técnica. A população de plantas impacta de forma inversa o número total de legumes por planta e de forma direta o número de legumes por metro quadrado. A altura da planta é afetada diretamente pela população de plantas, de forma que quanto maior a população, maior será a altura de plantas, condição desejada no plantio após a época recomendada.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. População de plantas de soja. Componentes do rendimento da soja.

## ABSTRACT

### SOYBEAN PRODUCTIVITY IN DIFFERENT POPULATIONS OF PLANTS AND SPECIFIC SITES MANAGEMENT ON AFTER PLANTING SEASON INDICATED

AUTHOR: Francisco Giraldi  
ADVISOR: Luciano Zucuni Pes

Soy constitutes one of the main crops of Brazilian and world agriculture, with important socio-economic role. In Brazil, currently, the soybean cultivars have increased production potential, and advanced technology for the production of grains and seeds. The productive potential of soy is genetically determined, but environmental factors are responsible for limiting the production. Factors such as height, geographic location, soil texture and fertility, sowing date and plant population are essential for the expression of genetic potential. The Precision Farming tools aim to support the rural activities, generating information of spatial and temporal variability that affects crop yields. We can treat differently parts of the same crop, using efficient and sustainable inputs of agricultural production. The aim of this study was to evaluate the soybean plant behavior in different plants population and management zones. Two soybean cultivars were used the NIDERA 6411 and TEC IRGA 6070, with plants population recommended is 31 to 28 plants per square meter, respectively. The plants population used were 25 and 50% for more and for less than recommended, totaling five treatments for each cultivar. The experimental design was completely randomized bifactorial in each management area. The following variables were evaluated: 1000 grain weight, yield, number of pods per plant, number of pods per square meter and plant height. The experiment was conducted in the experimental area of the Colégio Politécnico da UFSM, in 2015, after the recommended planting time, in the period known as off-season. The results of the variables were subjected to analysis of variance and regression and the means compared by Tukey test ( $p < 0.05$ ). In the high and average zones of management the cultivar NIDERA 6144 with plants population of 38 and 42 plants per square meter had the maximum technical efficiency. Already in low productivity zone, farming TEC IRGA 6070, in the amount of 47 plants per square meter, present the maximum technical efficiency. The population of plants inversely impacts the total number of pods per plant and directly the number of pods per square meter. Plant height is directly affected by the population of plants so that the higher the population, higher plant height, desired condition in planting after the recommended period.

**Keywords:** Precision agriculture. Soybean plants population. Soybean yield components.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Precipitação acumulada em diferentes anos, nos meses de desenvolvimento da cultura da soja, em Santa Maria (RS). .....	35
Figura 2 - Mapas de produtividade, divididos em três classes, nas safras de soja 2010/11 (a), 2011/12 (b) e 2013/14 (c) e safra de trigo 2012 (d), em Santa Maria (RS).....	38
Figura 3 - Produção acumulada de grãos, em três zonas de potencial produtivo, em diferentes combinações de safras, em Santa Maria (RS). .....	40
Figura 4 - Distribuição espacial de três combinações de mapas de rendimento e variação de área das zonas de manejo, em Santa Maria (RS). .....	42
Figura 5 - Distribuição das chuvas e variação da temperatura durante o período de condução do experimento, em Santa Maria (RS). .....	45
Figura 6 - Rendimento médio de grãos de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas, em Santa Maria (RS). .....	47
Figura 7 - Relação entre a produtividade e a população de plantas para a cultivar NIDERA 6411, em três zonas de manejo, em Santa Maria (RS). .....	50
Figura 8 - Relação entre a produtividade e a população de plantas, para a cultivar TEC IRGA 6070, em Santa Maria (RS). .....	51
Figura 9 - Relação entre a população de plantas e o número de vagens por planta, população de plantas e vagens por metro quadrado, produtividade e número de vagens por metro quadrado, de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas e zonas de manejo, em Santa Maria (RS). .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos e produtividade média das quatro safras avaliadas, em Santa Maria (RS). .....	35
Tabela 2 - Classes de declividades existentes no talhão, com as respectivas médias de atributos de solo e de produtividade, em Santa Maria (RS). .....	37
Tabela 3 - Variação das classes de produtividade nas diferentes safras, em Santa Maria (RS). .....	39
Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson das produtividades nas diferentes safras, em Santa Maria (RS). .....	40
Tabela 5 - Média dos atributos de solo nas diferentes combinações de sobreposição de mapas, em três zonas de manejo, em Santa Maria (RS). .....	43
Tabela 6 - Dados meteorológicos do período experimental, em Santa Maria (RS). .....	44
Tabela 7 - Valores dos quadrados médios dos erros das variáveis analisadas no experimento, em Santa Maria (RS). .....	46
Tabela 8 - Produtividade média de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas, em Santa Maria (RS). .....	47
Tabela 9 - Valores médios da produtividade de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas e zonas de manejo, em Santa Maria (RS). .....	48
Tabela 10 - Valores médios da altura final de plantas de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas e zonas de manejo, em Santa Maria (RS). .....	54
Tabela 11 - Peso médio de 1000 grãos de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas, em Santa Maria (RS). .....	55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO .....	21
2.1.1	<b>Zonas de manejo produtivo</b> .....	22
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	26
<b>4</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	27
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
5.1	DIVISÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL EM ZONAS DE MANEJO PRODUTIVO .....	28
5.1.1	<b>Mapas de produtividade e delimitação das zonas de manejo</b> .....	29
5.1.2	<b>Mapas de altimetria e declividade</b> .....	30
5.1.3	<b>Mapas de atributos do solo</b> .....	31
5.1.4	<b>Análise estatística e validação das zonas de manejo</b> .....	31
5.2	POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA, DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	32
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
6.1	ZONAS DE MANEJO PRODUTIVO DO TALHÃO EM ESTUDO .....	34
6.2	POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA EM SÍTIOS ESPECÍFICOS DE MANEJO .....	44
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	56
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	57
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	58
	<b>APÊNDICE A – AJUSTES GEOSTATÍSTICOS DOS MAPAS</b> .....	65
	<b>APÊNDICE B – MAPA DE ALTURA ELIPSOIDAL DO TALHÃO</b> .....	66
	<b>APÊNDICE C – MAPA DE DECLIVIDADE DO TALHÃO</b> .....	67
	<b>APÊNDICE D – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TEORES DE ARGILA</b> .....	68
	<b>APÊNDICE E – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CTC PH7</b> .....	69
	<b>APÊNDICE F – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TEORES DE FÓSFORO</b> .....	70
	<b>APÊNDICE G – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TEORES DE POTÁSSIO</b> .....	71
	<b>APÊNDICE H – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO PH EM ÁGUA</b> .....	72
	<b>APÊNDICE I – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SATURAÇÃO POR BASES</b> .....	73

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é a manipulação, pelo homem, do complexo conjunto de eventos biológicos, físicos e químicos constituintes da natureza. O homem manipula os eventos através de tecnologias, que tentam proporcionar as condições ideais de desenvolvimento de uma determinada cultura agrícola. Nos últimos 60 anos, a agricultura brasileira passou por sucessivas transformações tecnológicas, dentre as quais se podem citar o sistema plantio direto, o melhoramento genético de plantas para diferentes zonas agroclimáticas, a biotecnologia, a irrigação e o desenvolvimento de máquinas e implementos agrícolas mais eficientes.

A soja constitui-se em um dos principais cultivos da agricultura brasileira e mundial, com relevante papel socioeconômico, pois sua composição química e valor nutritivo lhe confere aplicações na alimentação humana e animal. No Brasil, atualmente, as cultivares de soja apresentam potenciais de produtividade cada vez maiores, além de tecnologia avançada para a produção de grãos e sementes. O potencial produtivo da soja é determinado geneticamente, porém fatores ambientais são responsáveis por limitar o teto produtivo. Fatores como altitude, latitude, textura, fertilidade do solo, época de semeadura e população de plantas são fundamentais para a expressão do potencial genético. A minimização da influência deles pode ser feita pela adoção de um conjunto de práticas de manejo que faz com que as plantas retirem o melhor proveito possível dos recursos do ambiente.

Por esse motivo, gerar e gerenciar informações detalhadas sobre a produção de uma determinada cultura é imprescindível para o entendimento da relação dos fatores limitantes da produtividade e a prática de manejo adotada. As ferramentas da Agricultura de Precisão (AP) visam dar suporte às atividades rurais, gerando informações da variabilidade espacial e temporal que afeta a produtividade das culturas. Através delas podemos identificar e quantificar a variabilidade espacial da lavoura e estabelecer relações entre os fatores que a causam. Desta forma podemos tratar de maneira diferenciada partes da mesma lavoura, aumentando a utilização eficiente e sustentável dos insumos da produção agrícola.

A AP se utiliza de diferentes recursos tecnológicos e etapas para poder atingir seu potencial pleno. Um exemplo é a eletrônica embarcada em máquinas, que através de atuadores, sensores e centrais de controle, armazena em intervalos de tempo determinados, as mais variadas informações da atividade que está sendo desenvolvida e executa ações programadas para o equipamento que está sendo utilizado. Já o sistema de posicionamento global (GPS) fornece, para o receptor, as informações referentes a localização no espaço, enquanto que os

Sistemas Computacionais de Informações Geográficas (SIG), servem de interface para o processamento das informações espaciais colhidas.

Contudo não basta ter a melhor eletrônica embarcada, o melhor receptor GPS ou o mais atual software de SIG, se a tomada de decisão para adoção de uma determinada prática de manejo for baseada em informações inconsistentes ou que não representem a realidade da lavoura. A AP é um ciclo que se auto alimenta, gerando um volume cada vez maior de informações, que deve ser analisada e compreendida pelo profissional responsável pelo sistema, que julgará se a informações geradas são relevantes para o processo produtivo. O profissional é a peça chave no processo de implementação e condução da AP. Ele deve ser capaz de compreender o sistema como um todo, para então poder atuar na especificidade da lavoura.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SOJA

A soja é matéria-prima para a indústria e fonte de proteína e lipídeos para alimentação humana e animal. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), na safra de 2014/2015, o Brasil produziu 96,3 milhões de toneladas, com produtividade de 2.998 kg ha<sup>-1</sup>. Esse montante coloca o Brasil como segundo maior produtor de soja do mundo, com 28% da produção mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Segundo projeção do Observatório Agrícola (CONAB, 2016) para a safra de 2015/2016, estima-se um crescimento de aproximadamente 2% na safra brasileira, alcançando o patamar de 100 milhões de toneladas.

A soja *Glycine max* (L.) Merrill, pertence à classe das dicotiledôneas, família Fabaceae e subfamília Faboidade (JUDD et al., 2009). Apresenta sistema radicular pivotante, com a raiz principal bem desenvolvida e raízes secundárias em grande número, que são capazes de associar-se a bactéria *Rhizobium japonicum* (SEDIYAMA et al., 2009). Apresenta caule herbáceo, ereto, com porte variável de 0,60 m a 1,50 m, com folhas alternadas, longas e pecioladas, compostas de três folíolos ovalados ou lanceolados, de comprimento variável entre 0,5 a 12,5 cm. As flores se formam em ráceros curtos, axilares e terminais, geralmente com 9 a 10 flores cada, de coloração branca, amarela ou violácea, dependendo da cultivar. Os frutos são vagens com duas a cinco sementes e se formam, geralmente, em agrupamentos de três a cinco (MATSUO et al., 2015). As sementes possuem forma arredondada, achatada ou alongada, de coloração e tamanho variados (NOGUEIRA et al., 2013).

A escala fenológica da soja, proposta por Fehr e Caviness (1977), identifica precisamente o estágio de desenvolvimento em que uma planta ou lavoura de soja se encontra. Ele está dividido em dois estádios, o vegetativo, representado pela letra “V” e o reprodutivo, representado pela letra “R”. Para a determinação dos estádios vegetativos, são contados os nós acima do nó cotiledonar. Uma planta se encontra em V1 quando as folhas unifolioladas estiverem completamente desenvolvidas; em V2 quando a primeira folha trifoliolada estiver completamente desenvolvida e assim sucessivamente, até Vn (MATSUO et al., 2015). Quando a planta inicia o processo de florescimento, ela então passa para o estágio reprodutivo, que inicia em R1 e termina em R8. O estágio reprodutivo pode ser agrupado em florescimento (R1 a R2), desenvolvimento da vagem (R3 a R4), desenvolvimento do grão (R5 a R6) e maturação da planta (R7 a R8).

Para o bom desenvolvimento da cultura da soja deve-se optar por solos profundos, de textura média, com boa estrutura e com topografia plana ou suave ondulada (SILVA et al., 2015). Solos profundos favorecem o desenvolvimento radicular, permitindo que a planta explore um maior volume de solo e, conseqüentemente, atingindo maior quantidade de nutrientes e água. A textura e a boa estrutura do solo, conjuntamente, são as mais importantes características do solo, pois são responsáveis pelo armazenamento e movimentação de água. A topografia plana e suave ondulada facilita as operações mecanizadas, além de ser uma característica importante para a conservação do solo, evitando a erosão (OLIVEIRA e ROSA, 2014).

As exigências nutricionais da cultura para potássio e fósforo são, respectivamente, próximas a 38 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 15 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, por tonelada de grãos produzidos (SFREDO, 2008). Solos com boa fertilidade suprem a necessidade de micronutrientes para o bom desenvolvimento da planta. Porém, a presença de acidez elevada, redução da matéria orgânica e a monocultura podem ocasionar deficiência. O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura da soja. São necessários 80 kg de N para produzir 1.000 kg de grãos. Basicamente, as fontes de N disponíveis para a cultura da soja são os fertilizantes nitrogenados e a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) (HUNGRIA et al., 2001). A principal fonte de N para a cultura da soja está na simbiose dela com a bactéria do gênero *Bradyrhizobium*, que quando em contato com as raízes as infectam, via pelos radiculares, formando os nódulos. A FBN pode, dependendo de sua eficiência, fornecer todo o N que a soja necessita (OLIVEIRA e ROSA, 2014). A inoculação das sementes com estirpes certificadas de *Bradyrhizobium*, aliada a correta inoculação, garantem a máxima eficiência da FBN.

De acordo com dados observados por Fendrich (2003), a necessidade hídrica para o bom desenvolvimento da cultura da soja varia entre 450 a 800 mm, durante todo o ciclo. A necessidade por água varia conforme o estágio fenológico em que a cultura se encontra, sendo baixo no início do ciclo, aumentando com o passar do desenvolvimento da planta, chegando a máxima demanda (7 a 8 mm dia<sup>-1</sup>), nos estádios de floração e enchimento de grãos (EMBRAPA, 2010). A precipitação pluvial é a principal fonte de água para os agroecossistemas gaúchos, sendo a variabilidade interanual da produtividade da cultura regida, principalmente, pelas variações da precipitação (ALBERTO e STRECK et al., 2006a).

A região sul do Brasil, em especial o estado do Rio Grande do Sul, sofre forte influência do fenômeno meteorológico conhecido como El Niño Oscilação Sul (ENOS). O fenômeno é constituído pela interação oceano-atmosfera que ocorre no Oceano Pacífico Tropical

(BERLATO et al., 1998). É constituído por uma fase fria e outra quente, sendo a primeira conhecida como La Niña e a segunda de El Niño e ambas são consideradas como a principal causa da variabilidade climática na região Sul (BERLATO et al., 2005).

Ocorre, durante o ano, a manifestação de apenas uma fase do fenômeno, podendo se repetir no ano seguinte, ou também não haver a manifestação de nenhuma fase. Na fase de El Niño observa-se, para o estado do Rio Grande do Sul, um aumento do volume de precipitação, em comparação a normal climatológica, em quase todos os meses do ano. Contudo, nos meses de outubro e novembro do ano que se inicia o fenômeno e em maio e junho do ano seguinte a constatação do início, são observados os maiores aumentos da precipitação (GRIMM et al., 1997). Quando há a manifestação da fase fria (La Niña) são observadas diminuições abaixo da média climatológica, nos mesmos períodos do ano que coincidem com a fase quente (BERLATO et al., 1998).

As fases do ENOS manifestam-se com intensidades diferentes em cada região do estado, devido ao relevo e latitude do local. Porém, as áreas que sofrem o maior impacto da variabilidade da precipitação causada pelo ENOS são exatamente as que apresentam grande expressão agrícola (BERLATO et al., 1998). Os impactos causados nas culturas de verão, na fase quente, são o atraso no plantio ou na colheita e dificuldades em efetuar os tratamentos fitossanitários. Nos anos de ocorrência da fase fria, a baixa disponibilidade de água no solo é o principal fator limitante para as culturas (ALBERTO et al., 2006b). O mesmo autor relata que embora a fase quente cause impactos nas culturas de verão, em geral eles são menores do que na fase fria, pois a maior disponibilidade hídrica favorece os altos rendimentos.

O número de horas de luz por dia (fotoperíodo) é o fator mais importante para determinar a proporção relativa entre a fase vegetativa e reprodutiva da planta, além de influenciar também na maturação, altura de planta, peso de grãos, número de ramificações e vagens por planta (SILVA et al., 2015; BARROS e SEDIYMA, 2009). A indução da floração ocorre quando a duração do dia for igual ou inferior ao valor crítico que caracteriza a cultivar. Dessa forma, a planta de soja é classificada como planta de dia curto. Embora cada cultivar possua um valor crítico específico de fotoperíodo, a percepção do mesmo depende do período juvenil, que pode ser longo ou curto (SILVA et al., 2015).

No Período Juvenil Curto (PJC), a percepção do fotoperíodo ocorre logo após o surgimento da folha unifoliolada (estádio V1), podendo ocorrer o florescimento entre 15 e 20 dias após a indução (BARROS e SEDIYAMA, 2009). As cultivares com PJC são indicadas para o cultivo na região sul do Brasil, onde na época de semeadura os dias são mais longos,

retardando, desse modo, a indução do florescimento (SILVA et al., 2015). Nas cultivares com Período Juvenil Longo (PJL), a indução ao florescimento ocorre a partir do quinto trifólio. Desse modo, mesmo que as condições de fotoperíodo sejam atendidas para o florescimento, não haverá indução se as plantas não estiverem nesse estágio (RODRIGUES et al., 2008).

Devido a diversidade de cultivares com exigência fotoperiódicas distintas, convém classificar as cultivares em grupos de maturação. Os grupos de maturação levam em conta o fotoperíodo de cada latitude e a soma de dias necessários para cada cultivar terminar seu ciclo produtivo. São recomendados, para o Rio Grande do Sul, os grupos de maturação que variam entre 5.0 e 7.0, sendo que o grupo 5.0 tem a duração de ciclo mais precoce do que o grupo 7.0 (OLIVEIRA e ROSA, 2014).

A soja apresenta boa adaptação a temperaturas entre 20 e 30°C, sendo o ideal para a rápida germinação e desenvolvimento a temperatura de 30°C (SILVA et al., 2015). Temperaturas menores ou iguais a 10°C inibem o crescimento da planta, enquanto que temperaturas acima dos 40°C tem efeitos adversos na taxa de crescimento, além de diminuir a capacidade de retenção de vagens e provocar distúrbios na floração. A floração da soja só é induzida em temperaturas acima dos 13°C. Desse modo, cultivares semeadas na mesma época apresentem diferentes datas de floração, devido às variações de temperatura (RODRIGUES et al., 2008).

Segundo o Zoneamento Agrícola para o estado do Rio Grande do Sul, a época recomendada de semeadura da soja é de 1/10 a 31/12, sendo que as cultivares com grupo de maturação próxima a 7.0 devem ser semeadas mais próximas ao dia 1/10, do que as cultivares com numeração inferior (OLIVEIRA e ROSA, 2014). A época recomendada de semeadura varia de acordo com a região produtiva. Segundo Barros et al. (2003), ela pode ser definida como um conjunto de fatores ambientais que reagem entre si e interagem com a planta, causando variação na produção e afetando outras características agrônômicas. Porém, uma parcela considerável das lavouras, no Rio Grande do Sul, é implantada após o término da época recomendada (LUDWIG et al., 2007), devido a ocorrência de El Niño ou La Niña, subdimensionamento do parque de máquinas e atraso na liberação de crédito rural.

Entre as práticas culturais, a época de semeadura é a que apresenta maior influência no desenvolvimento e produtividade de grãos (NAKAGAWA et al., 1986; PEIXOTO et al., 2000; RODRIGUES et al., 2008; SILVA et al., 2015). Florescimento prematuro, menor desenvolvimento vegetativo, redução da altura, da inserção das primeiras vagens são provocados pelo atraso do plantio (CÂMARA, 2015). Cada cultivar apresentará

comportamento diferente em relação à implantação fora da época recomendada, devido a duração do período juvenil, hábito de crescimento e grau de sensibilidade ao fotoperíodo. O plantio fora da época recomendada pode acarretar em perdas de 30 a 70% na produtividade de grãos, sendo que quanto mais tarde o plantio, maior é a possibilidade de perdas (SILVA et al., 2015).

A soja apresenta três principais componentes de rendimento: número de legumes por unidade de área, número de grãos por legume e peso médio dos grãos (JUNIOR e COSTA 2002). O primeiro é determinado pelo balanço entre a produção de flores por planta e a proporção destas que desenvolvem legumes. Por sua vez, o número de flores por planta é determinado pelo número de flores por nó e pelo número de nós por planta (JIANG e EGLI, 1993). McBlain e Hume (1981) relatam que o número de grãos por legume é fortemente influenciado pela seleção genética das cultivares. Por fim, o peso médio de grãos também é determinado geneticamente, mas é fortemente influenciado pelo ambiente (PADNEY e TORRIE, 1973).

Entender a relação entre o número de flores e a porcentagem de aborto e queda das estruturas reprodutivas (flores, legumes e grão) é importante para a compreensão da produção final de grãos pela planta (JIANG e EGLI, 1993). Práticas de manejo como adubação (BREVEDAN et al., 1978; VENTIMIGLIA et al., 1999), irrigação (MAEHLER, 2000), época, população de plantas e arranjo espacial (VENTIMIGLIA, 1996; HEIFFIG, 2002; RAMBO et al., 2003; SILVA, F. et al., 2015) afetam a produção e a fixação de flores e legumes.

Para buscar altos rendimentos produtivos é necessário adequar a população de plantas às condições ambientais locais, de acordo com os diferentes tipos de materiais genéticos (DUTRA et al., 2007). Variações nos fatores ambientais e do solo devem ser considerados na definição de uma população de plantio que proporcione o rendimento máximo para cada ambiente (VIEIRA JÚNIOR et al., 2006; MOLIN et al., 2006). A distribuição adequada de plantas na área visa melhorar o aproveitamento das condições de solo e ambiente, maximizando a produtividade. Permite, dessa forma, a máxima absorção de água e nutrientes, mínima competitividade intraespecífica, aumento da retenção e eficiência folhar no dossel inferior, devido a uma constante interceptação da radiação solar, além de facilitar a penetração e cobertura de defensivos (DEBORTOLI et al., 2006; SILVA et al., 2015).

O potencial de rendimento da soja pode ser modificado pela população de plantas na linha de semeadura ou o espaçamento entre linha (GAUDÊNCIO et al., 1990; RAMBO et al., 2004). A população de plantas de soja indicada para o estado do Rio Grande do Sul situa-se na

faixa de 300 mil plantas por hectare, com um espaçamento de 0,40 m (OLIVEIRA e ROSA, 2014). Variações entre 200 e 500 mil plantas por hectare, normalmente, influenciam insignificadamente o rendimento de grãos (SILVA et al., 2015). População variando entre 8 a 63 plantas por metro quadrado não apresentam variações significativas na produtividade da soja (CAPENTER e BOARD, 1997; RUBIN, 1997; PEIXOTO et al., 2000; HEIFFIG, 2002.).

O aumento da população de plantas eleva o potencial produtivo, pelo aumento da quantidade de legumes por metro quadrado. Porém deve haver condições de solo e ambientais para suprir a demanda de uma elevada população de plantas (BUSANELLO et al., 2013). Parte das perdas provocadas com a mudança na época de semeadura pode ser evitada pelo ajuste população de plantas à época de semeadura (LUDWIG et al., 2007; SILVA et al., 2015). A baixa resposta da produtividade em detrimento a variação da população de plantas está associada à alta plasticidade fenotípica da cultura da soja (PIRES et al., 2000; RAMBO et al., 2003; MARKOS et al., 2011). A plasticidade consiste na capacidade da planta em alterar a morfologia e os componentes do rendimento, a fim de adequá-los à condição imposta pela distribuição espacial de plantas (THOMAS et al., 2010). As alterações fenotípicas mais observadas são variação do número de ramificações, massa de grãos, número de vagens por planta, altura de planta e altura de inserção da primeira vagem (PEIXOTO et al., 2000; HEIFFIG, 2002; MAUAD et al., 2010; BUSANELLO et al., 2013).

A colheita constitui uma importante etapa no processo produtivo da soja, devido aos riscos que está sujeita a lavoura. Assim que a soja atingir o estágio R8 (maturação plena), a colheita deve ser iniciada, a fim de se evitar perdas na qualidade do produto. Uma vez atingida a maturação de colheita, a tendência é a deterioração dos grãos e a debulha em intensidade proporcional ao tempo em que a soja permanecer no campo (OLIVEIRA e ROSA, 2014). Algumas perdas são inerentes ao processo de colheita. Porém, é necessário que estas sejam sempre reduzidas a um mínimo, para que o lucro seja maior. Problemas relacionados ao solo, adaptação da planta ao local de cultivo, época de semeadura, umidade inadequada, regulação de implementos, estão entre os principais fatores da perda demasiada no processo de colheita (OLIVEIRA e ROSA, 2014).

## 2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

O conceito de Agricultura de Precisão (AP), para Blackmore et al. (1994), é o termo que descreve a meta de aumentar a eficiência do manejo da agricultura, sendo uma tecnologia em desenvolvimento, que modifica técnicas existentes e incorpora novas ferramentas. A AP é vista como uma ferramenta de gestão ou um sistema de gerenciamento de produção, que envolve máquinas, equipamentos e programas computacionais. Visa à redução nas quantidades de insumos a serem aplicados e, conseqüentemente, a diminuição de custos e impactos ambientais, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal das áreas agrícolas (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; AMADO e SANTI, 2007).

O sistema de AP compreende um ciclo fechado de tarefas (MOLIN, 2000), em que cada etapa gera informações para a etapa seguinte. As etapas do ciclo têm dois objetivos claros: conhecer a variabilidade espacial e temporal da área estudada ou talhão e melhorar as técnicas de manejo empregadas, tornando elas cada vez mais eficientes no uso dos recursos produtivos. Com o intuito de estudar a variabilidade de um talhão, utiliza-se informações de produtividade, solo, clima e relevo, que originarão, na sua forma de apresentação, mapas ou modelos digitais do terreno. Para Dampney e Moore (1999) são três os fatores que causam variabilidade: fatores fixos, difíceis de serem alterados (textura e profundidade do solo); fatores persistentes, que podem ser alterados (características químicas e físicas do solo: pH, nutrientes, densidade global, etc.); fatores sazonais, alterados em curto espaço de tempo (clima e incidência de pragas e doenças).

A investigação da variabilidade espacial dá-se através da utilização de um sistema de posicionamento confiável e capaz de ser obtido instantaneamente. O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é o mais difundido e conhecido no mundo, sendo composto por 24 satélites organizados em 7 órbitas. A informação de posicionamento é obtida através da diferença de tempo de transmissão dos sinais entre os satélites e o receptor do usuário. A precisão do posicionamento dependerá do tipo de sinal enviado ou do receptor utilizado pelo usuário, podendo variar de 10 m a 0,001 m.

Juntamente com os receptores GPS existem inúmeros sensores embarcados em máquinas e equipamentos agrícolas. Os sensores são, em linhas gerais, instrumentos que transformam estímulos físicos (luz, calor, magnetismo, movimento, pressão ou som) em impulsos elétricos. São projetados e calibrados para trabalhar em uma faixa de temperatura e umidade ideal, sendo os valores fora desse intervalo uma fonte de erro nos dados obtidos. Visando contornar os erros, cada fabricante recomenda a realização da calibração a campo dos

sensores, gerando, dessa forma, um fator de correção para as condições em que se encontra o equipamento.

Outra forma de se obter a variabilidade espacial de um talhão, principalmente em atributos de fatores fixos ou persistentes, é a malha de amostragem, que para Roloff e Forcht (2002) é o mais adequado e economicamente eficiente. O método consiste em dividir a área a ser amostrada em áreas menores, geralmente de 100 x 100 m e no centro dessa área efetua-se a amostragem. Todo o conjunto de dados é reunido em um software, conhecido genericamente como Sistema de Informação Geográfica (SIG). Através dele é possível criar, manipular e armazenar os mapas ou modelos do terreno. O SIG é uma ferramenta poderosa, capaz de relacionar diferentes informações armazenadas em épocas distintas, caracterizando a variabilidade temporal do talhão.

A sobreposição dos mapas ou modelos gerados pelo SIG servem como plano de fundo para o aperfeiçoamento das técnicas de manejo empregadas. O resultado da técnica aplicada será avaliado em um novo ciclo, com as novas informações de variabilidade obtidas. São inúmeras as possibilidades de aperfeiçoamento das técnicas de manejo, dentre as quais podem-se citar a recomendação e aplicação de fertilizantes a taxa variada (MOLIN et al., 2006, HAUSCHILD, 2013), a realização do plantio a taxa variada de sementes (SANTI et al., 2013), irrigação localizada em zonas de manejo, manejo de pragas e doenças em sítios específicos de manejo e escarificação a profundidade variada (AMADO et al., 2007). No caso da aplicação de insumos a taxa variada, é necessário um distribuidor com atuadores e dosadores, equipado com GPS e sensores, que permite variar a dosagem de acordo com cada local do mapa (MOLIN, 2002) ou em doses únicas para cada zona uniforme dentro do mapa (COELHO, 2003).

O sistema de AP se aperfeiçoa à medida em que é implantado e mantido dentro de uma propriedade. A análise temporal dos dados aperfeiçoa o sistema, dando oportunidade para criar zonas de manejo produtivo dentro dos diferentes talhões da propriedade, permitindo manejá-las para a obtenção do rendimento máximo (MOLIN et al., 2006; MILANI et al., 2006). Para muitos autores, a implantação do sistema de AP está completa quando se chega a esse nível de informação.

### **2.2.1 Zonas de manejo produtivo**

As zonas de manejo produtivo ou manejo de sítio específico, consiste na divisão do talhão em áreas homogêneas em relação a um conjunto de atributos, visando a adoção de técnicas de manejo específico para cada área delimitada (DOBERMANN e PING, 2004). As

áreas de cultivo agrícola apresentam variações consideráveis em seus atributos, como tipo de solo, características físicas e químicas, relevo e clima (DURIGON, 2007). Pode-se caracterizar também como manejo de solo-planta, baseado em princípios de gerenciamento agrícola de informações sobre a variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção, ambientais e agronômicos (MERCANTE et al., 2004).

Os mapas de produtividade têm-se mostrado eficientes na caracterização da variabilidade espacial das lavouras. São a representação gráfica da resposta das plantas frente às condições de manejo e de ambiente às quais foram submetidas, sendo considerado o resultado que se obteve com as técnicas empregadas (MOORE, 1998). Para Queiroz et al. (2000), os mapas de produtividade podem ser considerados também como o ponto de partida para o ciclo da AP, pois fornecerá informações para posterior investigação da variabilidade. Coelho (2003) relata que os mapas de produtividade sozinhos não são suficientes para explicar totalmente a variabilidade na produtividade dos cultivos, sendo oportuna a associação com outras informações, como atributos químicos e físicos do solo, dados meteorológicos e levantamentos topográficos.

A possibilidade de se coletar dados, através de sensores embarcados em colhedoras, ininterruptamente, torna os mapas de produtividade a informação mais completa da lavoura. Por outro lado, a grande quantidade de dados coletados possibilita a ocorrência de erros (MOORE, 1998; MENEGATTI e MOLIN, 2003). Os erros mais comuns encontrados nos arquivos de colhedoras se referem às falhas grosseiras de posicionamento, produtividade nula, interpretação incorreta da largura de plataforma, umidade nula, distância nula entre pontos, intervalo de enchimento da colhedora e dados discrepantes (MENEGATTI e MOLIN, 2004).

A acurácia do mapa de produtividade é de fundamental importância para a adoção de estratégias de manejo diferenciadas (SANTI et al., 2013). Para Molin (2002) é necessário haver consistência temporal para a definição correta das zonas de manejo produtivo. Portanto, a análise individual de mapas é restritiva e pode não representar a realidade do talhão. Desta forma, a sobreposição de mapas de produtividade para a definição e consolidação de zonas de manejo de distintos potenciais produtivos parece ser a maneira mais eficiente para caracterizar a variabilidade das lavouras (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; SUSZEK et al., 2011). A combinação de três mapas de produtividade, em conjunto com mais de uma cultura, proporciona a diferenciação de zonas estáveis de distintas produtividades (SANTI et al., 2013). Outros autores afirmam que são necessários no mínimo sete mapas de produtividade de culturas diferentes para a detecção da variabilidade espacial e temporal (BLACKMORE et al., 2003;

AMADO et al., 2007). Os mesmos autores destacam que o uso de um conjunto maior de mapas de produtividade suaviza as diferenças entre anos com disponibilidade hídrica favoráveis ao desenvolvimento da cultura, dos não favoráveis.

A técnica de zonas de manejo produtivo tem como fundamento a investigação da variabilidade da produtividade, no espaço e tempo (MALLARINO e WITTRY, 2004; GREGO e VIEIRA, 2005). Para tanto é necessário coletar um grande conjunto de informações (SANTI et al., 2012), principalmente as oriundas do solo. O mesmo autor relata que a representação digital de um atributo isolado do solo não é eficiente para estabelecer uma relação de causa-efeito com a produtividade de uma cultura. Parte disso se deve a complexidade do solo, considerado um sistema dinâmico, que apresenta interações entre componentes físicos, químicos e biológicos (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

As técnicas de geoestatística, por trabalharem com problemas de espacialização de variáveis, representam uma promissora ferramenta para a compreensão da dinâmica do solo e o impacto dela na produtividade dos cultivos. Através delas podemos identificar, quantificar, monitorar e conhecer as fontes de variação existentes (VALERIANO e PRADO, 2001). Estudos com geoestatística univariada (CASSEL et al., 2000) e técnicas de geoestatística multivariada, com análise de krigagem (BOURENNANE et al., 2004) têm conseguido relacionar, satisfatoriamente, o rendimento e os atributos de solo.

A análise de krigagem, desenvolvida por Ptheron em 1982, determina a escala de dependência espacial entre as variáveis em estudo e fornece medidas quantitativas de interações complexas entre os atributos estudados (BOURENNANE et al., 2004), minimizando o erro (variância) associado a cada estimativa e permitindo estimar a variância amostral para cada ponto (VALERIANO e PRADO, 2001). Outras ferramentas que auxiliam no processo de investigação e compreensão da complexa relação entre os fatores físico-químicos do solo e sua expressão no desempenho das culturas, avaliado por um conjunto de mapas de produtividade, são: correlação simples, análise fatorial, análise de componentes principais, análise dos fatores e teste de trilha (FREDDI et al., 2008; NOGARA NETO et al., 2011).

A expressão da produtividade é o produto da complexa interação entre diversos fatores, entre eles o clima, a genética da cultivar envolvida, qualidade do solo, tecnologia disponível e o manejo adotado. Investigar a variabilidade da produtividade no espaço e no tempo, requer a compreensão das interações existentes e a consciência de que a mudança em um fator acarreta em mudanças positivas ou negativas em outros fatores. Os mapas de produtividade são o

resultado final da interação e deve ser interpretado com a maior quantidade de informações disponíveis.

### **3 OBJETIVOS**

- Delimitar diferentes zonas de manejo produtivo, através de mapas de rendimento de diferentes safras e mapas de atributos químicos do solo.
- Avaliar o desempenho produtivo de duas cultivares de soja semeadas em diferentes populações de planta e zonas de manejo produtivo, após a época recomendada.

#### **4 HIPÓTESES**

- A través de um conjunto de dados de colheita e de atributos de solo é possível delimitar zonas de manejo distintas entre si.
- A variação da população de plantas, semeada após a época recomendada, é uma estratégia importante para maximizar a produtividade da cultura.
- A interação entre a população de plantas e a zona de manejo produtivo é significativa, sendo possível determinar-se populações ideais de plantas de soja para cada zona de manejo produtivo.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área experimental do Colégio Politécnico da UFSM, com o total de 23,5 ha, manejada com o sistema plantio direto. Ela está localizada no município de Santa Maria - RS, situada nas coordenadas geográficas Datum WGS 84, meridiano central 51°, 29°43'S e 53°45'W, apresentando predominância de relevo suave ondulado. O solo predominante é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2013) pertencente à Unidade de Mapeamento São Pedro (BRASIL, 1973), ocorrendo também associações com Argissolo Bruno-Acinzentado, característico da Unidade de Mapeamento Santa Maria. O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes, sem estação seca definida, conforme a classificação de Köppen, com temperaturas médias normais variando de 12,9 °C no mês de junho a 24,6 °C no mês de janeiro e precipitação bem distribuída no ano, tendo média anual oscilando entre 1500 a 1769 mm (MORENO, 1961).

A estrutura de Material e Métodos está dividida em duas partes. A primeira caracteriza a divisão da área experimental em zonas de manejo distintas, com base em dados de colheita e de atributos químicos de solo. A segunda utiliza-se da divisão criada na primeira parte como parâmetro para a implantação de diferentes populações de plantas de soja, conforme o proposto por Butzen e Guzenhauser (2010).

### 5.1 DIVISÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL EM ZONAS DE MANEJO PRODUTIVO

A divisão da área experimental em zona de manejo se baseou em dois conjuntos de dados existentes. O primeiro diz respeito às informações obtidas no momento da colheita (produtividade e altitude), enquanto que o segundo foi gerado a partir da coleta e análise de solo. Em todos os eventos de colheita, as informações foram geradas a partir de uma automotriz Massey Ferguson®, modelo MF32 Advanced, equipada com o sistema FieldStar, que é composto, basicamente, por uma antena de GPS, um computador central, responsável pela leitura e armazenamento das informações em um cartão de memória e sensores de rendimento e de umidade, ambos instalados no elevador de grãos.

O conjunto de informações de colheita existente da área experimental são das safras de soja dos anos agrícolas de 2010/2011, 2011/2012 e 2013/2014 e da safra de trigo do ano de 2012. Os dados brutos de cada colheita passaram por um processo de filtragem, conforme a metodologia proposta por Menegatti e Molin (2003), eliminando, dessa forma, erros de

posicionamento, largura de plataforma, pontos nulos ou com valores discrepantes e tempo de enchimento da máquina.

Os dados de solo foram obtidos após a colheita de soja da safra 2011/2012. Foi efetuada uma coleta de solo, através de uma malha de amostragem, com quadrículas de 100 x 100 m, totalizando 23 pontos amostrais. A malha foi gerada com auxílio do software CAMPEIRO 7<sup>©</sup> e, posteriormente, exportada para um receptor GPS de navegação. De posse das coordenadas de cada ponto amostral, procedeu-se a amostragem de solo, conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004). Logo após, as amostras de solo foram enviadas para a análise no Laboratório de Solos da UFSM.

Através dos dois conjuntos de dados existentes foram confeccionados modelos numéricos do terreno, representados na forma de mapas. Para fins de acompanhamento da evolução temporal dos dados analisados e padronização de coleta de dados sobre os modelos numéricos, foi confeccionada uma malha amostral padrão para a área experimental. Ela é estruturada em 1053 quadrículas de 225 m<sup>2</sup> (15 x 15 m), sendo que cada quadrícula é representada pelo seu ponto central (AMADO et al., 2007). Para cada ano agrícola foi gerado um modelo de produtividade, que foi utilizado para a divisão da área experimental em zonas de manejo. Já os modelos de atributos de solo e topográficos foram utilizados para validar a divisão obtida, testando a homogeneidade entre as zonas de manejo criadas.

### **5.1.1 Mapas de produtividade e delimitação das zonas de manejo**

Para cada conjunto de dados foi utilizado os valores de produtividade ajustados para umidade padrão de 13%. Sobre os dados de produtividade oriundos do processo de filtragem foi efetuada a média dos pontos contidos dentro de cada quadrícula da malha amostral padrão. Após, esses valores foram tabulados, utilizando o programa Excel<sup>©</sup>, do pacote Microsoft Office 2013<sup>©</sup>. Os dados tabulados foram submetidos a análises geoestatísticas, como dependência especial, ajuste ao variograma experimental e validação cruzada (YAMAMOTO, 2013). Escolhido os melhores ajustes geoestatísticos, cada conjunto de dados foi interpolado pelo método da krigagem ordinária, gerando um modelo numérico, com resolução espacial de 9 m<sup>2</sup> (tamanho de pixel de 3 x 3 m), através do programa GS+<sup>©</sup> Gamma Design Software<sup>©</sup>. Utilizando a malha amostral padrão, extraiu-se os valores de produtividade de cada modelo numérico interpolado. Novamente, os dados foram tabulados para efetuar a normalização pela média, em que cada ponto da quadrícula é dividido pela produtividade média da safra que ele

representa (MOLIN, 2002; SUSZEK, 2011), podendo-se comparar, dessa forma, no mesmo ponto da malha amostral padrão, produtividades de distintas safras.

Para a delimitação das zonas de manejo foram realizadas cinco diferentes sobreposições dos modelos de produtividade normalizados: C1: modelos da safra de soja 2010/2011 + soja 2011/2012 + soja 2013/2014 + trigo 2012; C2: modelos da safra de soja 2010/2011 + soja 2011/2012 + soja 2013/2014; C3: modelos da safra de soja 2011/2012 + soja 2013/2014 + trigo 2012; C4: modelos da safra de soja 2010/2011 + soja 2013/2014 + trigo 2012; C5: modelos da safra de soja 2010/2011 + soja 2011/2012 + trigo 2012. Para cada sobreposição foi calculada a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) de cada ponto.

Utilizando-se as classes de manejo definidas por Molin (2002), cada sobreposição de modelo foi classificada em: alta produtividade - pontos com produtividade normalizada maior que 105%; média produtividade - pontos com valores entre 95% e 105%; baixa produtividade - pontos com produtividade normalizada menor que 95%. Foram considerados, nessa classificação, pontos com CV menores ou iguais a 25%. Os pontos que não apresentaram essa exigência foram considerados inconsistentes, sendo descartados. Os dados restantes de cada sobreposição passaram por análise geoestatística e foram interpolados pelo método da krigagem ordinária, gerando cinco mapas de possíveis zonas de manejo para a área experimental.

### **5.1.2 Mapas de altimetria e declividade**

Efetuiu-se, em cada conjunto de dados filtrados, a média dos pontos de altitude contidos em cada quadrícula da malha amostral padrão, para cada colheita. Após, esses dados foram tabulados e calculou-se a média, desvio padrão e coeficiente de variação das altitudes de cada ponto da malha. Os pontos que tiveram um coeficiente de variação superior a 25% foram descartados. Os dados restantes passaram por análise geoestatística e foram interpolados pela krigagem, gerando um modelo com resolução espacial de 9 m<sup>2</sup>, denominado de modelo digital de elevação (MDE).

Segundo metodologia proposta por Alba et al. (2011), a partir de um MDE é gerado um TIN (Triangular Irregular Network), que compreende a criação de triângulos de faces inclinadas, a uma distância determinada, gerados a partir de no mínimo três pontos, com cotas e coordenadas conhecidas. A partir do TIN são criadas as curvas de nível e, pela diferença de altitude das curvas de nível e a distância horizontal, é gerado um mapa de declividade do terreno. Foi utilizado o software ArcGIS 10.2<sup>©</sup> para a geração do TIN e do mapa de declividade. O mapa foi classificado de acordo com a EMBRAPA (2013), que define cinco classes de

declividade: 0 a 3% é considerado plano, 3 a 8% é suave-ondulado, 8 a 20% é ondulado, 20 a 45% é forte ondulado e acima de 45% é montanhoso a forte montanhoso.

### **5.1.3 Mapas de atributos do solo**

De posse dos laudos das análises de solo, efetuou-se a elaboração dos modelos dos seguintes atributos: argila, pH em água, saturação por bases, CTC pH7, fósforo e potássio. Pelo fato do conjunto das amostras ser inferior a 30 pontos, os dados não puderam ser submetidos a análises geoestatísticas e interpolados pela krigagem. Segundo Yamamoto (2013), a interpolação por krigagem não deve ocorrer com número de amostras inferior a 30 pontos, pois não gerará números suficientes de pares para modelar o variograma. Dessa forma, os mapas foram interpolados através do método do inverso do quadrado da distância, com um raio de busca de 200 metros, conforme proposto por Amado et al. (2007).

### **5.1.4 Analise estatística e validação das zonas de manejo**

Os dados de produtividade, utilizados para a geração dos mapas de rendimento, foram submetidos à análise estatística descritiva e, posteriormente, à análise de correlação de Pearson.

Com o objetivo de encontrar as sobreposições capazes de distinguir diferentes zonas de manejo produtivo, foram amostrados, em cada mapa que compõem as sobreposições (C1, C2, C3, C4 e C5), 25 pontos de produtividade da malha amostral padrão, em cada zona de manejo. Os valores coletados de cada safra foram tabulados, acumulados e comparados pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi realizada, também, uma amostragem de valores nos modelos de atributos de solo, em cada zona de manejo, de cada conjunto de sobreposições. Utilizando-se a malha amostral padrão, amostrou-se os valores dos atributos de solo de cada zona de manejo, em um total de 200 pontos por zona, totalizando 600 pontos para cada conjunto de sobreposições. Para os valores amostrados nos diferentes conjuntos de sobreposições dos modelos, foi calculada a média de cada valor de atributo de solo, em cada zona de manejo, e comparadas as médias pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a escolha do conjunto de sobreposições de modelos numéricos do terreno, que melhor representa o talhão, foram analisadas as diferenças entre as médias em cada zona de manejo. O conjunto que apresentou a maior quantidade de diferenças entre as zonas de manejo, nos atributos de solo, foi o utilizado como base para a divisão do talhão em zonas de manejo produtivo.

## 5.2 POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA, DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

As cultivares de soja utilizadas para o estudo foram a TEC IRGA 6070 e a NIDERA 6411. A cultivar TEC IRGA 6070 é de ciclo precoce e de hábito de crescimento indeterminado, com exigência de fertilidade média a alta e indicada para uso em solos com alta umidade, com população recomendada de 28 plantas por metro quadrado. Por sua vez, a cultivar NIDERA 6411 apresenta ciclo de 130 dias, com hábito de crescimento determinado e população recomendada de 31 plantas por metro quadrado. Ambas são indicadas para a região onde foi realizado o estudo.

As diferentes populações de plantas, para ambas as cultivares, foram de 25% e 50% para mais e para menos do recomendado, ficando as seguintes quantidades para cada tratamento: cultivar NIDERA 6411 - T1 = 31 plantas por metro quadrado (população de plantas recomendada), T2 = 39 plantas por metro quadrado (+25%), T3 = 47 plantas por metro quadrado (+50%), T4 = 23 plantas por metro quadrado (-25%) e T5 = 16 plantas por metro quadrado (-50%); cultivar TEC IRGA 6070 - T6 = 28 plantas por metro quadrado (população de plantas recomendada), T7 = 35 plantas por metro quadrado (+25%), T8 = 42 plantas por metro quadrado (+50%), T9 = 21 plantas por metro quadrado (-25%) e T10 = 14 plantas por metro quadrado (-50%).

O delineamento experimental foi um bifatorial, sendo o fator A = zona de manejo (qualitativo) e o fator B = população de plantas (quantitativo), inteiramente casualizado em cada zona de manejo, com cinco tratamentos para cada cultivar e duas repetições. Cada unidade experimental foi constituída de 20 m de comprimento por 3,44 m de largura, correspondendo a largura da semeadura. Dentro de cada unidade experimental foi estipulada uma área útil, correspondente às 4 linhas centrais de plantio, por 8 m de comprimento, ficando como bordadura, 6 m de cada lado da unidade experimental.

As sementes foram tratadas com fungicida, inseticida e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, sendo, em seguida, semeadas. A semeadura foi realizada mecanicamente, dentro de cada zona de manejo, em 22 de janeiro de 2015, com o uso de uma semeadura de 8 linhas, com espaçamento de 0,43 m de distância entre as linhas, a uma profundidade de 5 cm. Foi acrescentado, no momento da semeadura, 20% de sementes para todos os tratamentos, visando evitar populações de plantas inferiores às estipuladas para o estudo. A adubação de manutenção e reposição foi determinada de acordo com a análise química do solo, seguindo a orientação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004),

sendo realizada à lanço, após a semeadura. Os tratos culturais e fitossanitários utilizados para o experimento seguiram as recomendações para a cultura da soja (OLIVEIRA e ROSA, 2014).

Aos 10 dias após a emergência das plantas foi determinado o estande e realizado o desbaste manual, para a obtenção das populações projetadas. O ciclo da cultura foi acompanhado de acordo com os estádios fenológicos da escala de Costa e Marchezan (1993).

Identificada, em 15 de maio de 2015, a maturidade fisiológica de campo das plantas (R8), realizou-se a escolha de 12 plantas de cada área útil, para avaliação das seguintes variáveis: altura final de planta, obtida pela distância entre a superfície do solo e a extremidade apical da haste principal e o número de legumes por planta, resultante da contagem direta das vagens formadas em cada planta. O número de legumes por metro quadrado foi obtido pela multiplicação da média de legumes por planta pela população de cada tratamento. Após, procedeu-se a colheita manual das áreas úteis de cada parcela e as plantas foram trilhadas em trilhadeira estacionária. Os grãos limpos foram pesados e, na sequência, foi determinado o teor de umidade. Após, foi calculado o rendimento em  $\text{kg ha}^{-1}$ , à 13% de umidade. Por fim, a determinação da massa de 1000 grãos seguiu as recomendações estabelecidas pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

As variáveis vegetais avaliadas no experimento foram submetidas à análise de variância, para verificar a significância da interação e dos efeitos principais e, após, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Além disso, foi realizada a análise de regressão (STORCK et al., 2004), com o auxílio do pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com objetivo de facilitar a compreensão do presente trabalho, os resultados e discussão estão organizados em dois momentos. O primeiro compreende a elaboração do mapa das zonas de manejo do talhão em estudo. Já o segundo aborda os aspectos relacionados ao rendimento de duas cultivares de soja semeadas nas diferentes zonas de manejo, após a época recomendada, em diferentes populações de plantas.

### 6.1 ZONAS DE MANEJO PRODUTIVO DO TALHÃO EM ESTUDO

Durante o processo de filtragem dos dados foram encontrados erros em todos os eventos de colheita. Os erros mais frequentes foram a ocorrência de pontos com produtividade ou umidade nula e coordenadas repetidas, ou seja, distância nula. As produtividades ou umidades nulas podem estar relacionadas com a sujeira da massa de grãos que passou pelo elevador da máquina ou algum problema de comunicação entre o sensor e o monitor de colheita. Os erros de coordenadas repetidas estão associados a velocidade de descolamento da colhedora, que em certas partes do talhão é reduzida, devido a configuração do relevo. Desta forma, a distância percorrida pela colhedora, dentro do intervalo de coleta de dados, também diminui, ficando próxima do provável raio de erro do GPS utilizado (MENEGATTI e MOLIN, 2003). Esse tipo de erro, segundo o mesmo autor, é comum de ocorrer devido à grande taxa de coleta de dados em um curto intervalo de tempo.

Após o processo de filtragem foram eliminados, em média, 28% do total de pontos coletados em cada conjunto de dados de colheita. Menegatti e Molin (2004) afirma que o grande número de pontos coletados pelo sistema aumenta a qualidade da informação, mesmo quando se elimina um percentual elevado de dados. Contudo, não se justifica a ausência do uso de filtros para a elaboração de mapas de produtividade, uma vez que se verifica dados não condizentes com a realidade do talhão.

Em todos os conjuntos de dados de colheita ficou evidenciada a variabilidade espacial da produtividade das culturas, conforme o resumo estatístico, principalmente pelos valores de produtividade máxima, média e mínima (Tabela 1). Nessa tabela foram considerados os pontos de colheita após o processo de filtragem dos dados, removendo, dessa forma, os valores que interfeririam nos parâmetros estatísticos de cada colheita. O correto gerenciamento e interpretação das informações obtidas nos mapas de colheita passa, exclusivamente, pela qualidade dos dados obtidos no campo. O conjunto de dados de produtividade apresenta

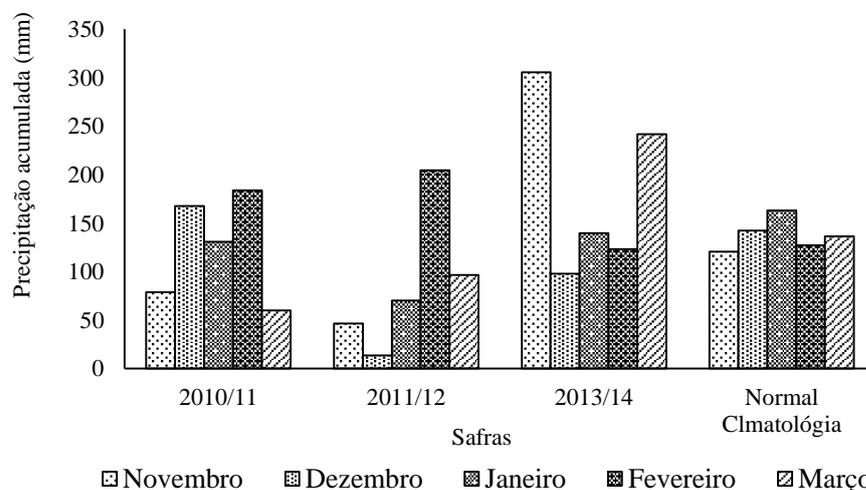
coeficiente de variação e desvio padrão semelhantes aos dados apresentados por Santi (2007), em mapas de produtividade de diferentes culturas e anos agrícolas, nos municípios de Palmeira das Missões (RS) e Não-Me-Toque (RS).

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos e produtividade média das quatro safras avaliadas, em Santa Maria (RS).

<b>Parâmetros estatísticos</b>	<b>Soja 2010/11</b>	<b>Soja 2011/12</b>	<b>Trigo 2012</b>	<b>Soja 2013/14</b>
Máximo (kg ha <sup>-1</sup> )	3382,57	4143,65	1786,47	2208,83
Média (kg ha <sup>-1</sup> )	2156,91	2110,27	1242,95	1652,03
Mínimo (kg ha <sup>-1</sup> )	630,51	513,13	678,26	936,40
Quartil superior (kg ha <sup>-1</sup> )	2649,48	2578,06	1380,08	1752,41
Quartil inferior (kg ha <sup>-1</sup> )	1680,48	1664,60	1102,48	1552,20
Desvio padrão (kg ha <sup>-1</sup> )	643,01	659,42	211,43	159,20
Coeficiente de variação (%)	29,811	31,24	17,01	9,63

Os dados da Tabela 1 evidenciam a presença da variabilidade espacial na área estudada. Para a safra de trigo de 2012, a diferença entre a máxima e a mínima produtividade foi de 62,00%. Quando analisamos os dados das safras de soja 2010/11, 2011/12 e 2013/14, a diferença entre a produtividade máxima e mínima foi de, respectivamente, 81,35%, 87,61% e 57,62%. A oscilação das diferenças de produtividades máximas e mínimas das três safras de soja podem ser explicadas pelas variações da disponibilidade hídrica no período de desenvolvimento das culturas (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação acumulada em diferentes anos, nos meses de desenvolvimento da cultura da soja, em Santa Maria (RS).



Fonte: INMET.

Historicamente, na região da área de estudo, a necessidade hídrica da cultura da soja é satisfeita. A precipitação acumulada da normal climatológica, na época de desenvolvimento da cultura (novembro a março) é de 689 mm. Contudo, nos anos de 2010 a 2014, observaram-se irregularidades na distribuição da precipitação para o mesmo período (Figura 1), o que influenciou diretamente na variabilidade da produtividade das safras, confirmando os resultados obtidos por Alberto et al. (2006b). Nas safras de 2010/11 e 2011/12, a precipitação acumulada foi, respectivamente, 9,97% (620 mm) e 37,40% (431 mm) inferior ao acumulado da normal climatológica, enquanto que a safra de 2013/2014 foi 31,80% (908 mm) superior.

Os períodos de estiagem no início do desenvolvimento das safras 2010/11 e 2011/12 podem ter sido responsáveis pela diferença entre a produtividade máxima e mínima, quando se compara com a safra 2013/14. Para a safra 2010/11, o período de estiagem ocorreu em novembro, que corresponde ao período de semeadura e emergência da cultura. Já na safra 2011/12 ocorreu estiagem em dezembro, que compreende o início do desenvolvimento da cultura. Entretanto, em ambas as safras, nos meses de janeiro e fevereiro, que coincidem com o período de florescimento e de enchimento de grãos, os valores acumulados foram muito próximos (mês de janeiro) ou superiores (mês de fevereiro) a normal climatológica. Dessa forma, esses anos caracterizaram-se como bons para a cultura da soja.

A safra 2013/14 apresentou a menor diferença entre a produtividade máxima e mínima, bem como a menor produtividade média (1652,03 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 1), quando comparada às outras safras de soja do talhão. A menor variação entre a máxima e a mínima deu-se pela regularidade da precipitação ao longo do desenvolvimento da cultura, constatando-se período de estiagem apenas no mês de dezembro. Porém, a regularidade não garantiu um bom rendimento devido ao excesso hídrico ocorrido nos meses de novembro e março, que consistem, respectivamente, ao período de semeadura e de colheita. Tal excesso diminuiu o período de semeadura, afetando a sua qualidade, além de dificultar a emergência das plantas, sendo que foi necessário o replantio de algumas partes do talhão. Do mesmo modo, o período de colheita foi reduzido, permanecendo a lavoura, que estava em ponto de colheita, por um maior tempo no campo. Dessa forma, esse ano caracterizou-se como ruim para a cultura da soja.

Além do regime hídrico, é possível estabelecer relações entre os mapas de produtividade com os atributos topográficos, físicos e químicos do solo, a fim de investigar as causas da variabilidade da produtividade. O sistema de informações geográficas (SIG) é uma poderosa ferramenta utilizada na agricultura de precisão. Através dele pode-se espacializar, monitorar, gerenciar e analisar várias informações sobre a mesma área. Segundo Alba et al. (2011), em

regiões com o relevo predominante suave ondulado a ondulado, os modelos digitais de atributos do solo e de produtividade, quando interpretados juntamente com a declividade da área, auxiliam no entendimento da variabilidade do talhão. A classificação do relevo em suave ondulado (3 a 8% de declividade) representa 48% da área total do talhão, seguido por 36,6% de relevo ondulado (8 a 20% de declividade), enquanto que as classificações de relevo plano (0 a 3% de declividade) e forte ondulado (20 a 45% de declividade) representam 14,4% e 1% da área total do talhão, respectivamente.

A explicação de muitas causas da variabilidade observada nos mapas de rendimento das safras estudadas pode estar relacionada com os processos que ocorrem na superfície do terreno, tais como: escoamento superficial de água, erosão, transporte de sedimentos e nutrientes e infiltração de água no solo. A produtividade no relevo plano na safra de soja 2013/2014 foi 26,48% menor do que na safra de 2011/12, sendo a menor produtividade média de todas as safras de soja (Tabela 2). Ela localiza-se entre as áreas de relevo suave ondulado e ondulado (Apêndice C), caracterizando-se como regiões de potencial acúmulo de água em anos chuvosos.

Tabela 2 - Classes de declividades existentes no talhão, com as respectivas médias de atributos de solo e de produtividade, em Santa Maria (RS).

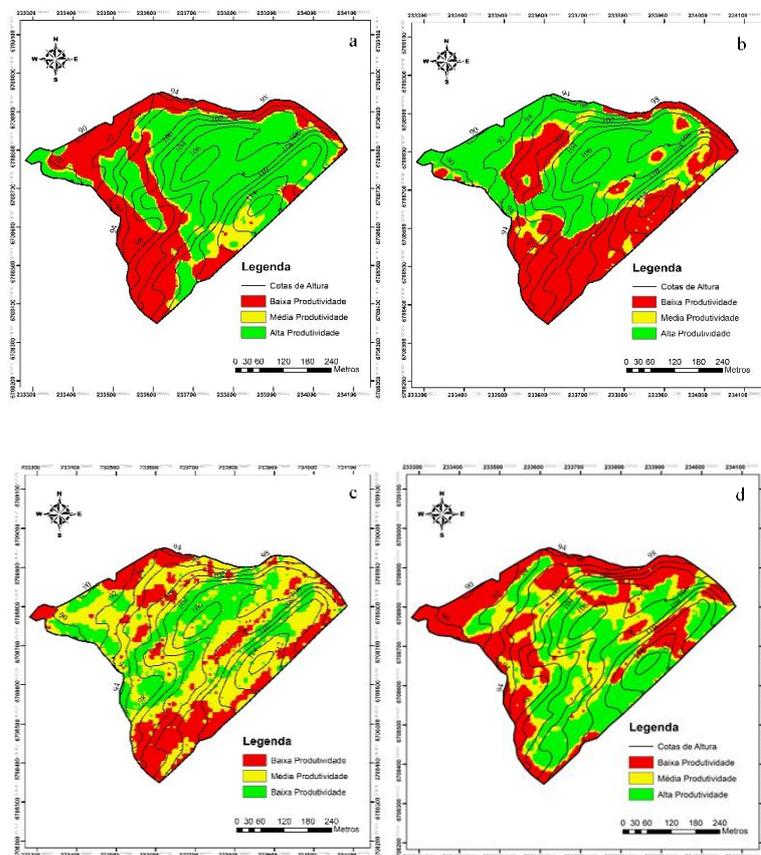
Variáveis	Classes de declividade			
	Plano (0-3%)	Suave ondulado (3-8%)	Ondulado (8-20%)	Forte ondulado (20-45%)
Argila (%)	20,47	20,93	20,94	20,00
CTC <sub>pH7</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	22,29	23,24	22,68	19,09
P (mg dm <sup>-3</sup> )	15,63	14,54	13,04	8,04
K (mg dm <sup>-3</sup> )	111,04	112,39	105,74	94,32
pH em água	5,15	5,20	5,22	5,01
Saturação por bases (%)	73,10	75,10	75,50	63,20
Soja 2010/11 (kg ha <sup>-1</sup> )	2126,66	2159,02	2157,42	2487,34
Soja 2011/12 (kg ha <sup>-1</sup> )	2179,41	2128,44	2046,61	2687,27
Trigo 2012 (kg ha <sup>-1</sup> )	1206,17	1263,37	1231,47	1128,26
Soja 2013/14 (kg ha <sup>-1</sup> )	1602,65	1642,67	1681,08	1731,25

Em razão da variabilidade espacial existente nas diferentes safras é necessário quantificar a estrutura espacial da variabilidade (COELHO, 2003). O uso das técnicas de geoestatística permite a realização da avaliação da dependência espacial de um atributo. Segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), os semivariogramas que tem efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, apresentam forte dependência espacial; valores entre 25% e 75% tem moderada dependência e, acima de 75%, baixa dependência espacial. Segundo Santi

(2007), se a variabilidade não apresentar estruturação espacial, a melhor estimativa de qualquer parâmetro obtido no talhão é o valor médio ou a mediana. No Apêndice A é apresentada a tabela dos ajustes geoestatísticos dos dados, em que todos apresentaram forte dependência espacial e regular coeficiente de regressão na validação cruzada. Desse modo, os dados de produtividade podem ser utilizados para a criação dos modelos numéricos do terreno, através da krigagem.

Os dados de produtividade de cada safra, após o processo de relativização pela média, foram interpolados e classificados em três classes, de acordo com Molin (2002). A qualidade do solo agrícola é o pressuposto que reflete o potencial produtivo de uma cultura, sendo ela baseada na excelência dos atribuídos biológicos, físicos e químicos (SANTI, 2007). Observa-se que em cada safra há uma variação das classes de produtividade (Figura 2), sendo que as interações entre as condições climáticas (apontadas anteriormente) e fatores como, manejo da cultura, solo e planta, são responsáveis por essa variação. Desse modo, fica evidente que a análise individual dos mapas de produtividade é restritiva e que pode não representar a realidade do talhão, se houver alteração de algum dos fatores da interação.

Figura 2 - Mapas de produtividade, divididos em três classes, nas safras de soja 2010/11 (a), 2011/12 (b) e 2013/14 (c) e safra de trigo 2012 (d), em Santa Maria (RS).



Entre as diferentes safras, observa-se uma regularidade na porcentagem da área ocupada pelas zonas de produtividade até a safra de trigo 2012 (Tabela 3). Essa ocorrência, em anos secos, está relacionada com o regime hídrico e as características intrínsecas do solo, como o teor de matéria orgânica e os níveis de compactação (SANTOS et al., 2004). Na safra de soja 2013/14 há um aumento de 89,00% da área classificada como de média produtividade, em relação à safra de trigo 2012, bem como um decréscimo de 32,11% e 29,52%, respectivamente, nas zonas de baixa e de alta produtividade. Essa informação evidencia que em condições de excesso hídrico, as zonas de alta e de baixa produtividade são mais sensíveis à essa situação do que a zona de média produtividade.

Tabela 3 - Variação das classes de produtividade nas diferentes safras, em Santa Maria (RS).

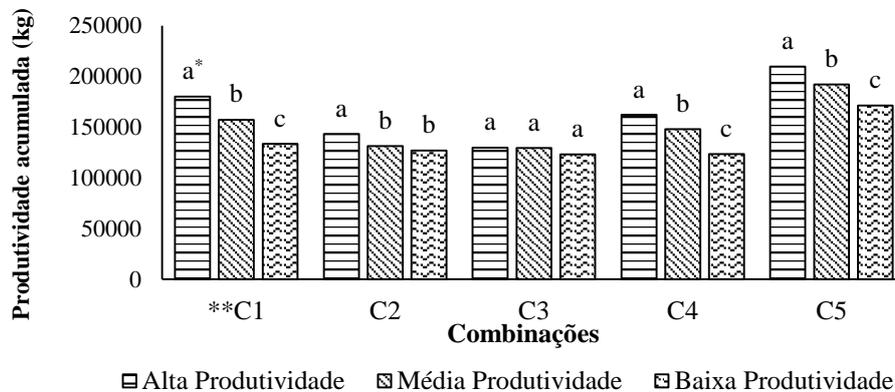
Produtividade	Soja 2010/11		Soja 2011/12		Trigo 2012		Soja 2013/14	
	Área (ha)		Área (ha)		Área (ha)		Área (ha)	
Baixa	8,51	36%	9,52	40%	8,47	36%	5,72	24%
Média	2,39	10%	2,75	12%	6,06	26%	11,47	49%
Alta	12,65	54%	11,27	48%	9,01	38%	6,35	27%
Total	23,54	100%	23,54	100%	23,54	100%	23,54	100%

Os mapas de produtividade são o ponto de partida para a averiguação das causas da variabilidade da produção em lavouras (QUEIROZ et al., 2000). O acúmulo de vários mapas de rendimento, para a discriminação de zonas de manejo, visa caracterizar a variabilidade temporal do talhão (MOLIN, 2000). Amado et al. (2007) afirma que são necessários no mínimo sete mapas de rendimento, de safras diferentes, para a detecção da variabilidade espacial e temporal de um talhão. Por outro lado, Santi et al. (2013) afirma que com três anos de mapeamento do talhão já se pode ter uma definição da variabilidade espacial da produtividade.

Utilizando uma sequência temporal de no mínimo três mapas, foram delimitadas as zonas de manejo (Figura 3). Contudo, como o conjunto de dados de análise é restrito a quatro eventos de colheita, mesclando anos bons e ruins para o rendimento das culturas, observa-se que nem todas as combinações foram capazes de caracterizar zonas distintas.

Correlacionando as produtividades (Tabela 4), percebe-se que não há correlação significativa entre as safras de trigo 2012 e de soja 2013/14. Nas combinações em que estão presentes simultaneamente estas duas safras (C2 e C3), a falta de correlação entre elas foi a responsável por não distinguir estatisticamente as diferentes zonas de potencial produtivo.

Figura 3 - Produção acumulada de grãos, em três zonas de potencial produtivo, em diferentes combinações de safras, em Santa Maria (RS).



\* Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*\*C1: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de soja 2013/2014; C2: safra de soja 2011/2012 + safra de soja 2013/2014 + safra de trigo 2012; C3: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2013/2014 + safra de trigo 2012; C4: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de trigo 2012; C5: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de trigo 2012 + safra de soja 2013/2014.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson das produtividades nas diferentes safras, em Santa Maria (RS).

	Soja 2010/11	Soja 2011/12	Trigo 2012	Soja 2013/14
Soja 2010/11	1			
Soja 2011/12	0,178 <sup>a</sup>	1		
Trigo 2012	0,169 <sup>a</sup>	-0,177 <sup>a</sup>	1	
Soja 2013/14	0,250 <sup>a</sup>	0,230 <sup>a</sup>	0,043 <sup>ns</sup>	1

<sup>a</sup> correlação significativa ao nível de 0,01; <sup>ns</sup> não significativo.

Considerando que a variabilidade do rendimento é o reflexo da complexa interação entre fatores ligados a aspectos fisiológicos da cultura, condições climáticas e a qualidade do solo, o uso de vários mapas de colheita da mesma área visa minimizar tais efeitos (MULLA e SCHEPERS, 1997). Em um mapa sobreposto, quanto menor for a diferença da produtividade acumulada entre as zonas de potencial produtivo, maior é a inconsistência dos dados para determinada zona, já que a probabilidade da região classificada em um mapa sobreposto pertencer a outra classe, quando vista em um mapa isolado, aumenta. Nas combinações C2 e C3, a diferença acumulada entre as zonas de alta e de baixa foi de, respectivamente, 12,97% e 5,32%. Já a diferença entre as zonas de alta e de média foi de, respectivamente, 9,06% e 0,23%, enquanto que a diferença entre a zona de média e de baixa foi de, respectivamente, 3,58% e 5,07% (Figura 3). Para as combinações C1, C4 e C5, a diferença entre as zonas de alta e de

baixa é de, respectivamente, 34,79%, 31,21% e 22,45%. Já a diferença entre as zonas de alta e de média é de, respectivamente, 14,05%, 9,51% e 9,08%. Por fim, a diferença entre as zonas de média e de baixa é de, respectivamente, 17,72%, 19,80% e 12,25%.

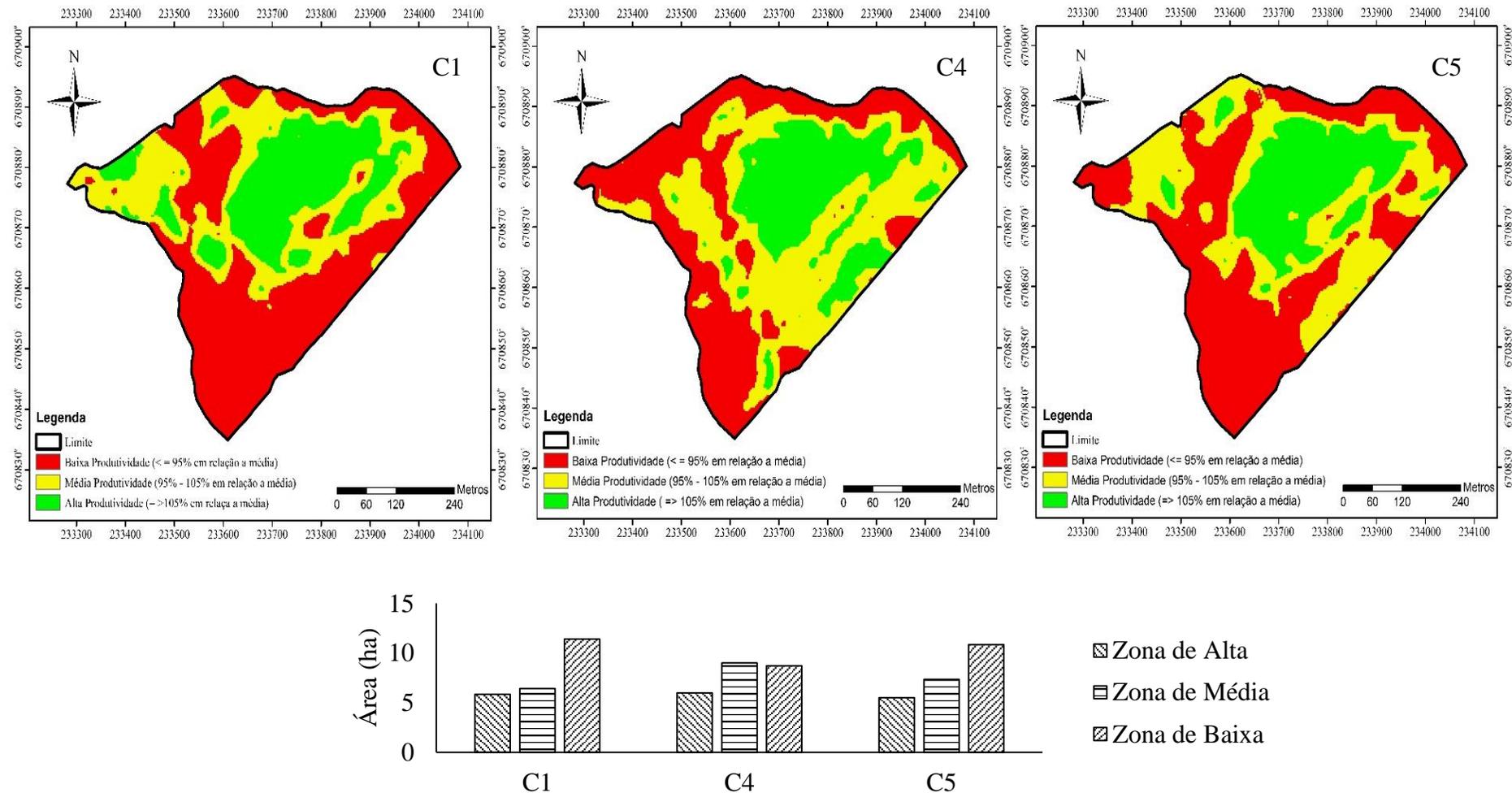
Nota-se que quando as composições são realizadas utilizando apenas culturas da mesma família botânica (combinação C1), há um aumento entre as diferenças acumuladas em todas as zonas de manejo. Quando é realizada a composição com todo o conjunto de dados (combinação C5), as diferenças acumuladas entre as zonas são as menores, devido a inserção, na composição, de safras que não se correlacionam.

As zonas de manejo nas diferentes combinações (C1, C4 e C5) não apresentam grandes diferenças em suas localizações espaciais (Figura 4). Na combinação C1, a zona de baixa produtividade representa 48,15% (11,41 ha), a zona de média representa 27,16% (6,44 ha) e a zona de alta representa 24,69% (5,85 ha) do total do talhão. Já na combinação C4, a zona de média representa 37,99% (9 ha), a de baixa representa 36,75% (8,71 ha) e a de alta representa 25,26% (5,99 ha) do total do talhão. Para finalizar, na combinação C5, a zona de baixa produtividade representa 45,77% (10,85 ha), seguida pela zona de média, que representa 30,96% (7,34 ha) e a zona de alta, que representa 23,27% (5,51 ha) do total do talhão.

As diferentes safras que compõem cada combinação são as responsáveis pelas variações das áreas de cada zona de manejo, evidenciando, dessa forma, a necessidade de se encontrar, entre as combinações, a que melhor represente o talhão. A zona de manejo é caracterizada por ser uma fração, do total do talhão, homogênea em distintos atributos, tendo comportamento semelhante ao longo das safras. Utilizando as zonas de manejo delimitadas pelos mapas de rendimento, entre as combinações que apresentaram produtividade acumuladas distintas em todas as zonas criadas (C1, C4, C5), investigou-se a homogeneidade de atributos de solo dentro de cada zona, em cada combinação (Tabela 5).

Embora os conjuntos de sobreposições C1, C4 e C5 apresentem rendimentos acumulados em cada zona de manejo distintos entre si, nenhum foi capaz de delimitar áreas homogêneas entre os atributos de solo analisados. Com o intuito de escolher entre essas combinações a que apresente mais homogeneidade entre os diferentes atributos, comparou-se as médias pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dos seis atributos de solo investigados, a combinação C1 apresentou diferença estatística entre todas as zonas de manejo em quatro atributos, seguida pela combinação C5, que apresentou diferença estatística em três atributos e pela combinação C4, que apresentou diferença estatística entre todas as zonas de manejo em apenas dois atributos (Tabela 5).

Figura 4 - Distribuição espacial de três combinações de mapas de rendimento e variação de área das zonas de manejo, em Santa Maria (RS).



C1: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de soja 2013/2014; C4: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de trigo 2012; C5: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de trigo 2012 + safra de soja 2013/2014.

Tabela 5 - Média dos atributos de solo nas diferentes combinações de sobreposição de mapas, em três zonas de manejo, em Santa Maria (RS).

Combinação	Zona de alta	Zona de média	Zona de baixa
	pH em água		
C1**	5,29 a*	5,11 b	5,34 a
C4	5,35 a	5,30 b	5,25 c
C5	5,35 a	5,20 b	5,35 a
	CV = 3,48%		
	P (mg dm <sup>-3</sup> )		
C1	11,08 a*	15,02 b	19,58 c
C4	12,91 a	17,38 b	19,55 c
C5	10,30 a	17,32 b	19,56 c
	CV = 33,18%		
	CTC <sub>pH7</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
C1	22,50 a*	21,72 b	25,89 c
C4	23,42 a	24,96 b	23,89 a
C5	22,70 a	23,13 a	25,38 b
	CV = 10,43%		
	Argila (%)		
C1	20,13 a*	19,77 b	22,075 c
C4	20,74 a	21,09 b	21,00 ab
C5	20,42 a	20,57 a	21,85 b
	CV = 6,36%		
	Saturação por bases (%)		
C1	76,57 a*	72,67 b	80,33 c
C4	78,16 a	79,00 a	78,34 a
C5	77,50 a	75,35 b	80,53 c
	CV = 6,04%		
	K (mg dm <sup>-3</sup> )		
C1	105,83 a*	101,18 a	135,98 b
C4	116,48 a	126,43 b	111,99 a
C5	107,79 a	116,59 b	131,48 c
	CV = 21,46%		

\* Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*\*C1: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de soja 2013/2014; C4: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de trigo 2012; C5: safra de soja 2010/2011 + safra de soja 2011/2012 + safra de trigo 2012 + safra de soja 2013/2014.

O fato do estudo apresentar uma série temporal pequena de mapas de rendimento, com distintas condições meteorológicas, e apenas informações de uma coleta de solo, contribui para a não distinção das médias dos atributos pesquisados. Dessa forma, a combinação de mapas de rendimento, até o presente momento desse trabalho, que melhor representa o talhão em estudo é a combinação C1: safra soja 2010/2011 + safra soja 2011/2012 + safra soja 2013/2014. Dessa

forma, ela foi utilizada como referência para a instalação de diferentes populações de plantas de soja, cujos resultados serão apresentados na sequência.

## 6.2 POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA EM SÍTIOS ESPECÍFICOS DE MANEJO

A semeadura após a época recomendada apresenta as condições ambientais mais limitantes para o desenvolvimento da cultura da soja, podendo acarretar perdas de até 70% (SILVA et al., 2015). As condições ambientais adversas, como encurtamento do fotoperíodo, temperatura baixa ao longo do desenvolvimento da cultura, principalmente no período reprodutivo e acentuação de alguma fase do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), são alguns dos fatores limitantes. Durante o período de condução do experimento foram observadas as seguintes variáveis meteorológicas (Tabela 6).

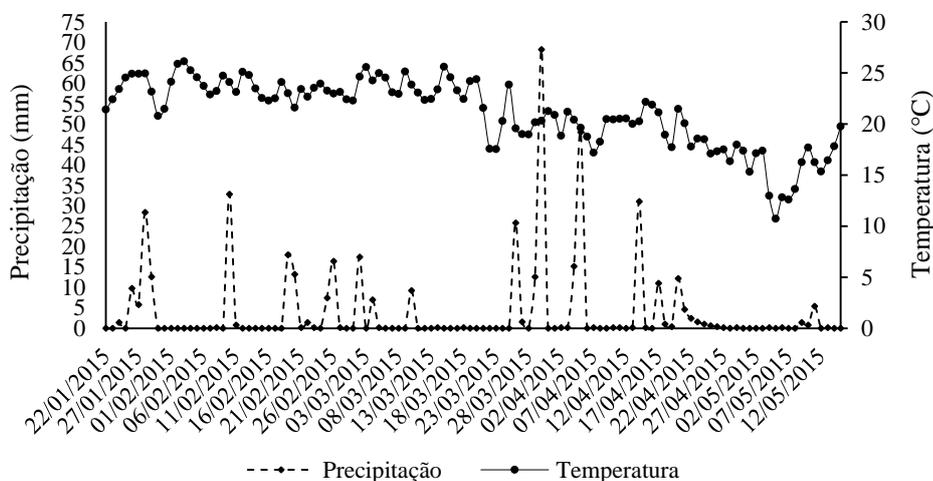
Tabela 6 - Dados meteorológicos do período experimental, em Santa Maria (RS).

Mês	Dados climatológicos normais		Dados meteorológicos de 2015	
	Temperatura média (°C)	Precipitação acumulada (mm)	Temperatura média (°C)	Precipitação acumulada (mm)
Janeiro	24,2	163,0	23,2	190,2
Fevereiro	23,9	127,2	23,6	90,8
Março	21,9	136,2	22,4	142,4
Abril	18,4	121,4	19,3	131,2
Maió	15,9	127,5	15,4	122,8

Fonte: INMET.

A necessidade hídrica da soja para o bom desenvolvimento varia, de acordo com a cultivar, entre 450 a 800 mm durante todo o ciclo da cultura (FENDRICH, 2003). A precipitação acumulada no período foi de aproximadamente 675 mm, satisfazendo o necessário para a cultura se desenvolver (Tabela 6). A precipitação acumulada nos meses de janeiro, março e abril foi, respectivamente, 16,69%, 4,55% e 8,07% superior à normal climatológica para o período de condução do experimento. Já nos meses de fevereiro e maio, a precipitação acumulada foi, respectivamente, 28,62% e 3,69% inferior à normal climatológica. Embora a precipitação acumulada tenha atendido a demanda hídrica para o desenvolvimento da cultura, sua distribuição ao longo do ciclo não foi uniforme (Figura 5), pois ocorreram períodos de estiagem (superiores a 7 dias) e grandes volumes precipitados em um único dia.

Figura 5 - Distribuição das chuvas e variação da temperatura durante o período de condução do experimento, em Santa Maria (RS).



Fonte: INMET.

A soja apresenta boa adaptação a temperaturas entre 20 e 30°C, sendo o ideal para a rápida germinação e desenvolvimento a temperatura de 30°C (SILVA et al., 2015). Nos meses de janeiro, fevereiro e março, a temperatura média ficou muito próxima ao esperado para o período e dentro da faixa de adaptação das cultivares (Tabela 6). Porém, nos meses de abril e maio, períodos compreendidos pelo florescimento e enchimento de grãos, respectivamente, observou-se que a temperatura média de cada mês ficou abaixo da faixa de adaptação. Não foi registrada temperatura média diária inferior a 10 e 13°C, que inibiriam o crescimento e a indução ao florescimento da planta, respectivamente (EMBRAPA, 2010).

A análise de variância para as características agrônômicas estudadas é apresentada na Tabela 7. A cultivar NIDERA 6411 apresentou valores de  $F$  significativos para os fatores zona de manejo e população de plantas, em relação às seguintes variáveis: produtividade agrícola, altura de plantas, número de vagens por planta e número de vagens por metro quadrado. Para a variável peso de 1000 grãos foi observado valor de  $F$  significativo apenas para o fator população de plantas. Já a cultivar TEC IRGA 6070 apresentou valores de  $F$  significativos para os fatores zona de manejo e população de plantas, em relação às seguintes variáveis: produtividade agrícola, altura de plantas e número de vagens por planta, enquanto que a variável vagens por metro quadrado apresentou valor significativo apenas para o fator população de plantas.

A interação entre os fatores zona de manejo e população de plantas não foi significativo em nenhuma variável para a cultivar TEC IRGA 6070. Por outro lado, houve interação

significativa entre os fatores para a cultivar NIDERA 6411 nas variáveis produtividade agrícola e altura de plantas.

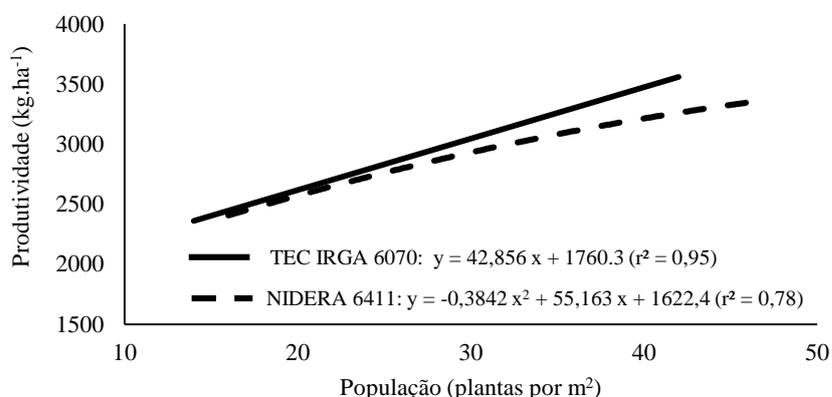
Tabela 7 - Valores dos quadrados médios dos erros das variáveis analisadas no experimento, em Santa Maria (RS).

Fontes de Variação	GL	Produtividade Agrícola	Peso de 1000 grãos	Altura de plantas	Número de vagens por planta	Vagens por metro quadrado
<b>Nidera 6411</b>						
Zona de Manejo (ZM)	2	16416,49 **	196,15 ns	161,40 **	762,50 **	640332,40 **
População de Plantas (P)	4	11391,96 **	266,45 **	144,64 **	1399,15 **	327132,00 *
ZM * P	8	1684,88 *	49,83 ns	20,32 **	17,67 ns	13901,75 ns
Erro	15	599,70	54,55	20,32	73,41	84858,45
<b>Tec Irga 6070</b>						
Zona de Manejo (ZM)	2	10044,12 **	147,29 ns	450,34 **	186,51 *	102279,25 ns
População de Plantas (P)	4	14264,70 **	20,04 ns	165,45 **	1289,23 **	395740,28 **
ZM * P	8	2058,95 ns	69,89 ns	15,83 ns	62,03 ns	37387,27 ns
Erro	15	1496,98	32,57	7,75	32,78	28211,73

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ). \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); ns não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

Para ambas as cultivares, a relação entre produtividade e população de plantas é direta, sendo que os maiores rendimentos foram obtidos nas maiores populações (Figura 6). Relação similar também foi observada por Ludwig et al. (2007), ao testar em três cultivares de soja, nas populações de 25, 40 e 55 plantas por metro quadrado, semeadas fora da época recomendada. Segundo o mesmo autor, o aumento da população de plantas é uma prática que pode ser utilizada para reduzir as perdas no rendimento, quando a implantação da lavoura for fora da época recomendada.

Figura 6 - Rendimento médio de grãos de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas, em Santa Maria (RS).



As diferentes populações de plantas estudadas obtiveram distintas produtividades médias (Tabela 8). Não foi encontrada, através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade, diferença entre a população recomendada (31 plantas por m<sup>2</sup>) da cultivar NIDERA 6411 e as populações menores (16 e 23 plantas por m<sup>2</sup>). Porém, se obteve diferença entre a população recomendada e as populações maiores (39 e 47 plantas por m<sup>2</sup>). A população com a maior produtividade (39 plantas por m<sup>2</sup>) foi 28,78% superior em relação a população recomendada.

Tabela 8 - Produtividade média de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas, em Santa Maria (RS).

População (planta por m <sup>2</sup> )	Produtividade média (kg ha <sup>-1</sup> )
----- <b>Nidera 6411</b> -----	
16	2398,86 a*
23	2795,69 a
31	2683,57 a
39	3455,82 b
47	3279,69 b
----- <b>Tec Irga 6070</b> -----	
14	2263,92 a*
21	2818,44 ab
28	2876,10 ab
35	3339,99 b
42	3503,12 b

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Não foi encontrada diferença significativa, para a cultivar TEC IRGA 6070, entre a população recomendada (28 plantas por m<sup>2</sup>) e as demais populações. Foi encontrada diferença significativa apenas entre a população de 14 plantas por m<sup>2</sup> e as populações de 35 e 42 plantas por m<sup>2</sup>. A população de 42 plantas por m<sup>2</sup> é a que apresenta a maior produtividade, sendo 54,74% superior à de menor população estudada.

Dividir o talhão em zonas de manejo, com distintos potenciais produtivos, é agrupar áreas homogêneas, para que se possa adotar técnicas de manejo exclusivas para cada área, potencializando, dessa forma, o rendimento. Para buscar altos rendimentos produtivos é necessário adequar a população de plantas às condições ambientais locais, de acordo com os diferentes tipos de materiais genéticos (DUTRA et al., 2007). De acordo com Busanello et al. (2013), a população de plantas define condições de competição entre a própria cultura, ou ainda, entre a cultura e as plantas invasoras, por recursos como nutrientes, luminosidade e água. As diferentes condições criadas pelas populações estudadas, aliada ao agrupamento do talhão em zonas de manejo produtivo, resultou nas diferentes produtividades observadas para cada população, dentro de cada zona de manejo produtivo (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores médios da produtividade de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas e zonas de manejo, em Santa Maria (RS).

População (plantas por m <sup>2</sup> )	Zona de Manejo								
	Alta			Média			Baixa		
	<b>Nidera 6411</b>								
16	2782,27	A*	a	2673,48	A	a	1740,83	A	b
23	3521,19	AB	a	2622,56	A	b	2243,31	AB	b
31	3193,50	AB	a	2503,60	A	b	2353,60	AB	b
39	3696,83	B	a	3694,76	B	a	2975,88	BC	b
47	3443,75	AB	a	3122,68	AB	a	3272,65	C	a
Média	3327,51		a	2923,42		b	2517,25		c
	CV = 8,38%								
	<b>Tec Irga 6070</b>								
14	2743,02	A*	a	2496,47	A	ab	1552,28	A	b
21	2726,08	A	a	3269,83	AB	a	2459,43	AB	a
28	2609,03	A	a	3400,47	AB	a	2618,80	AB	a
35	3017,64	A	a	3673,03	AB	a	3329,30	B	a
42	3330,44	A	a	3700,39	B	a	3478,52	B	a
Média	2885,24		ab	3308,04		b	2687,67		a
	CV = 13,07%								

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, sendo que letras minúsculas comparam as colunas e letras maiúsculas comparam as linhas.

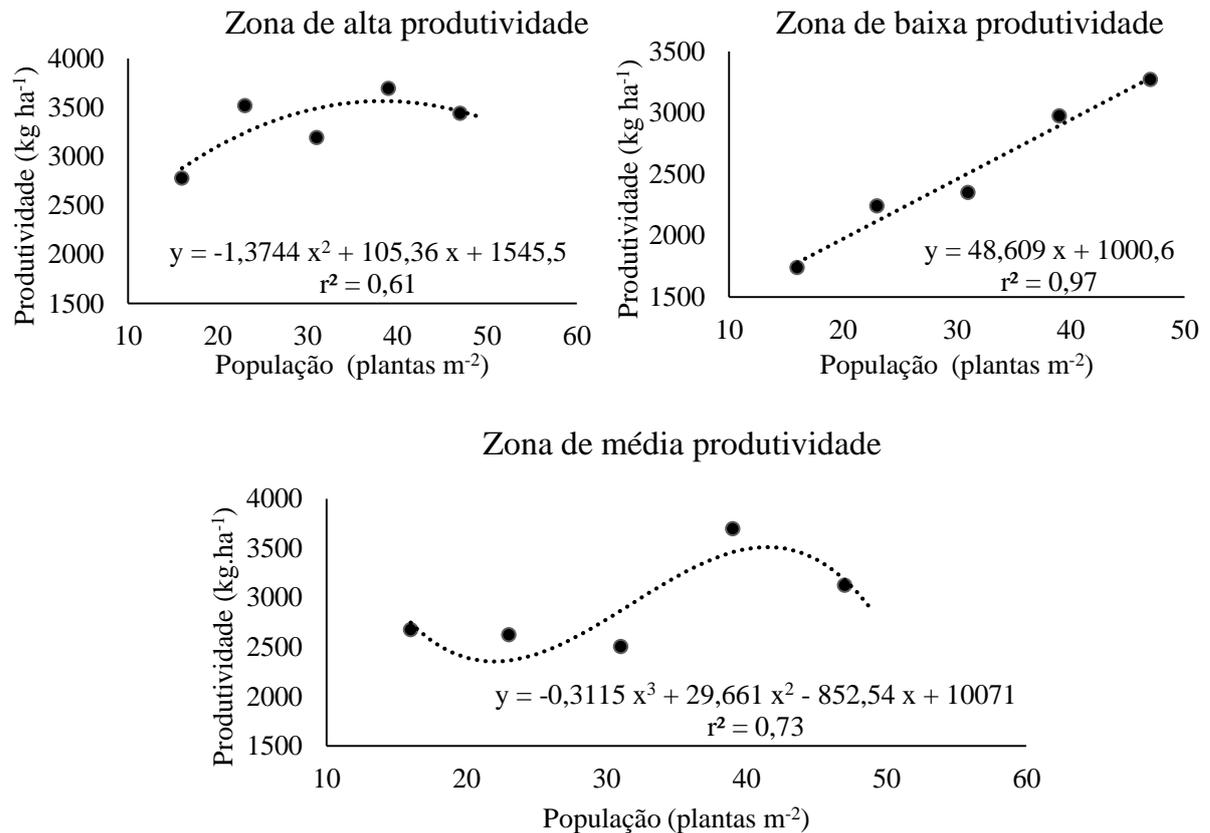
A cultivar NIDERA 6411 apresentou diferença significativa no rendimento médio de grãos entre as diferentes zonas de manejo. Como era de se esperar, a zona de alta produtividade obteve rendimento médio superior, quando comparada com as zonas de média e de baixa produtividade, sendo 14,82% e 32,18% superior, respectivamente (Tabela 9). Já a zona de média produtividade obteve rendimento médio superior de 16,13% em relação a zona de baixa produtividade. Dentro de cada zona de manejo produtivo ocorreu diferença significativa em apenas duas populações de plantas, sendo que na zona de alta, a população de 39 plantas por  $m^2$  foi 32,87% superior a população de 16 plantas por  $m^2$ . Na zona de média produtividade também foi observada diferença significativa entre as populações de 39 e 16 plantas por  $m^2$ , sendo que o rendimento médio foi 38,20% superior na maior população. Já na zona de baixa produtividade, a diferença foi significativa entre a população de 47 plantas por  $m^2$  e de 16 plantas  $m^2$ , sendo que o rendimento médio foi 87,99% superior na maior população.

Por outro lado, na cultivar TEC IRGA 6070 foi observada diferença significativa do rendimento médio apenas entre as zonas de média e de baixa produtividade, sendo a de média produtividade 23,08% superior à de baixa (Tabela 9). Além disso, não foi obtida diferença significativa entre o rendimento médio das diferentes populações, na zona de alta produtividade. Na zona de média produtividade foi encontrada diferença significativa entre as populações de 42 e 14 plantas por  $m^2$ , sendo a primeira 48,22% superior à segunda. Também foi observada diferença significativa entre as populações de 42 e 14 plantas por  $m^2$ , na zona de baixa produtividade, sendo que a primeira foi 124,09% superior à segunda.

Na análise de variância, a interação ente os fatores zona de manejo produtivo e população de planta foi significativa para a cultivar NIDERA 6411. Dessa forma, pode-se afirmar que existe uma população adequada para essa cultivar, para cada zona de manejo delimitada, nas condições de condução do experimento (Figura 7). As equações de ajuste para cada zona de manejo foram satisfatórias, de modo que é possível inferir que a máxima eficiência técnica é a população adequada para cada zona de manejo. Para a zona de alta produtividade, a população que apresentará máxima produtividade é a de 38,32 plantas por  $m^2$ , que produzirá 3564,47  $kg\ ha^{-1}$ . Já para a zona de média produtividade, a população de 41,5 plantas  $m^2$  produzirá 3510,29  $kg\ ha^{-1}$ . Como na zona de baixa produtividade o ajuste foi uma equação do primeiro grau, a máxima produtividade é o maior valor testado (47 plantas por  $m^2$ ), que produzirá 3478,52  $kg\ ha^{-1}$ . Em todas as zonas de manejo, a população que representa a máxima

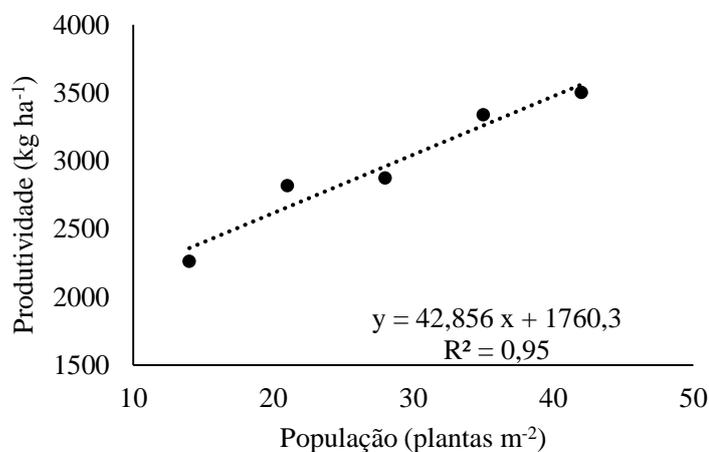
eficiência técnica é superior à população recomendada, que é de 31 plantas  $m^{-2}$ , em condições de semeadura após a época recomendada.

Figura 7 - Relação entre a produtividade e a população de plantas para a cultivar NIDERA 6411, em três zonas de manejo, em Santa Maria (RS).



Como na análise de variância a interação entre os fatores zona de manejo e população não foi significativo para a cultivar TEC IRGA 6070, nas condições de condução do experimento, pode-se afirmar que há apenas uma população de plantas adequada para essa cultivar em todas as zonas de manejo. Como o melhor ajuste do conjunto de dados foi uma equação do primeiro grau (Figura 8), a população que apresentará o melhor desempenho em questão de rendimento é a maior população testada (42 plantas  $m^{-2}$ ), que produziu, em média, 3503,12  $kg ha^{-1}$ , sendo ela superior a recomendada (28 plantas  $m^{-2}$ ).

Figura 8 - Relação entre a produtividade e a população de plantas, para a cultivar TEC IRGA 6070, em Santa Maria (RS).

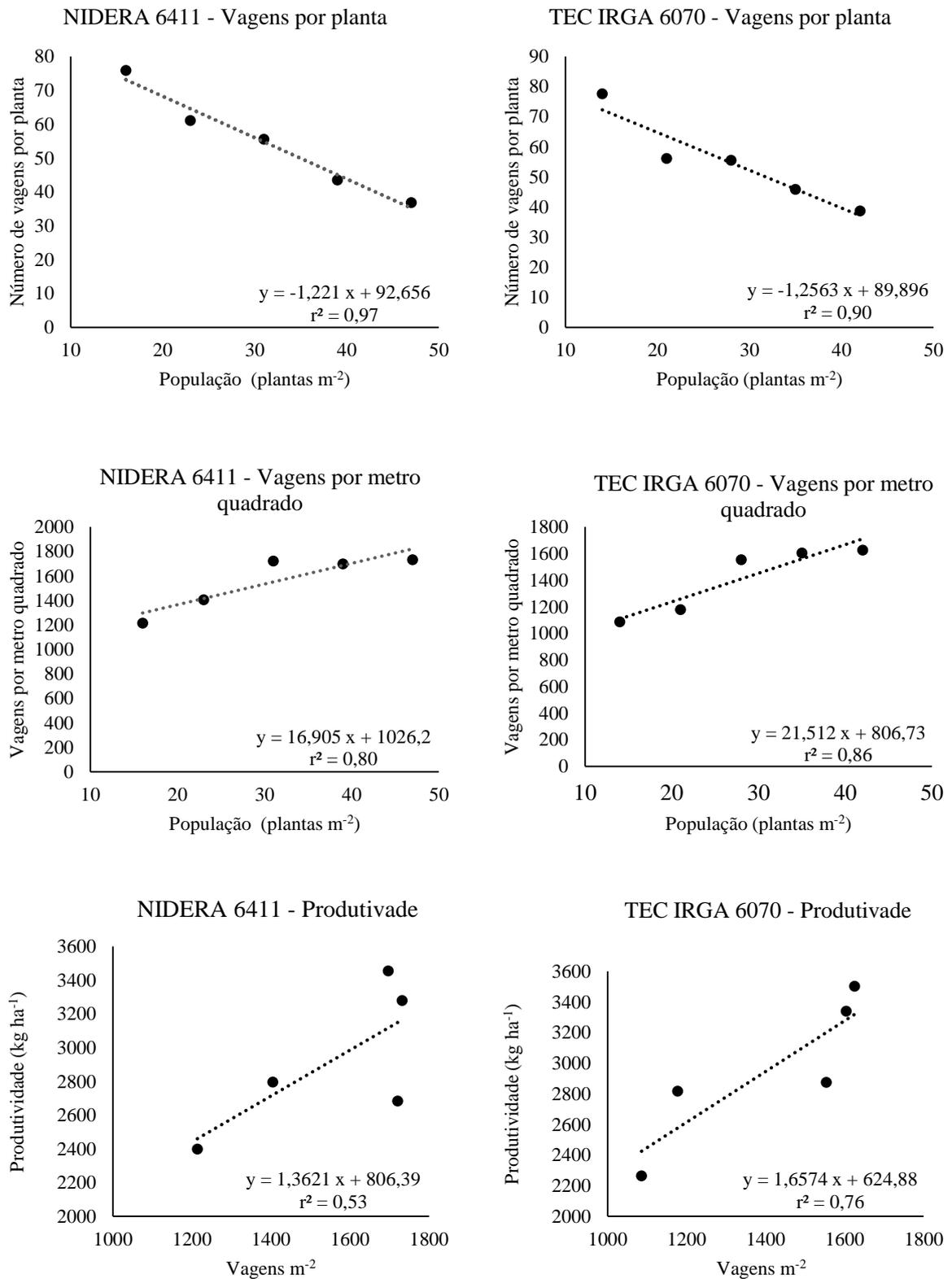


Ao se analisar os principais componentes de rendimento das cultivares estudadas nas diferentes populações de plantas, observa-se comportamentos que auxiliam na compreensão da produtividade expressa em cada população. O aumento da população diminui linearmente o número de vagens por planta (Figura 9), pois nas maiores populações há maior competição por luz e menor disponibilidade de fotoassimilados, fazendo com que a planta diminua o número de ramificações e o número de nós (MAUAD et al., 2010; LUDWIG et al., 2011).

O menor número de vagens por planta da cultivar NIDERA 6411 foi de 36,85, observado na população de 47 plantas m<sup>-2</sup>, enquanto que o maior número de vagens foi de 75,87, na população de 16 plantas m<sup>-2</sup>. A cultivar TEC IRGA 6070 apresentou igual tendência, sendo que o maior número de vagens por planta foi de 77,55, atingido na menor população (14 plantas m<sup>-2</sup>). Na maior população (42 plantas m<sup>-2</sup>) foi constatado o menor número de vagens por planta, sendo ele de 38,70 (Figura 9). Ludwig et al. (2007), ao comparar cultivares de soja em três populações de plantas, em semeadura após a época indicada, encontrou comportamento similar, atribuindo o resultado ao menor no número de vagens por ramo.

O aumento do rendimento de grãos, associado às maiores populações, não está atribuído ao número de vagens por planta, mas sim a quantidade de vagens por metro quadrado (LUDWIG et al., 2007; RODRIGUES et al., 2008; BUSANELLO et al., 2013). Foi constatado que na população de 47 plantas m<sup>-2</sup>, a quantidade de vagens por metro quadrado foi de 1732,07, enquanto que na população de 42 plantas m<sup>-2</sup> foi observada a quantidade de 1625,23 vagens por metro quadrado, respectivamente, para a cultivar NIDERA 6411 e TEC IRGA 6070 (Figura 9).

Figura 9 - Relação entre a população de plantas e o número de vagens por planta, população de plantas e vagens por metro quadrado, produtividade e número de vagens por metro quadrado, de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas e zonas de manejo, em Santa Maria (RS).



Com o aumento da população de plantas há um aumento do potencial produtivo, devido ao maior número de vagens por metro quadrado (BUSANELLO et al., 2013). Porém, é necessário haver condições favoráveis para o potencial produtivo resultar em produtividade final. Embora a maior quantidade de vagens por metro quadrado observada na cultivar NIDERA 6411 tenha sido na população de 47 plantas  $m^{-2}$ , esta apresentou produtividade 5,37% inferior a população de 39 plantas  $m^{-2}$  (Tabela 8), que produziu 1697,04 vagens por metro quadrado. Dessa forma, pode-se inferir que na maior população de plantas não houveram condições ambientais favoráveis para tornar o potencial produtivo em produtividade final. Em contrapartida, a maior quantidade de vagens por metro quadrado, observada na população de 42 plantas  $m^{-2}$  da cultivar TEC IRGA 6070, resultou em maior produtividade (Tabela 8), indicando que as condições favoreceram a expressão do potencial produtivo (Figura 9).

No cultivo da soja fora da época recomendada de semeadura, a altura da planta sofre grande influência, devido às condições climáticas adversas, acarretando em dificuldade na colheita mecanizada, pela inserção muito baixa da primeira vagem. Ludwig et al. (2011), comparando 10 cultivares de soja, em três populações de plantas, após a época recomendada, afirma que o atraso da semeadura ocasiona a redução da altura de planta. Nos dados apresentados pelo mesmo autor, observa-se que a altura final das plantas aumenta, quanto maior for a população de plantas. Câmara (1998) e Martins (1999) afirmam que a população modifica a altura final das plantas, pois a competição intraespecífica pelos fatores do ambiente, em densas populações, determina uma maior altura de planta.

A altura média das plantas, para a cultivar TEC IRGA 6070, nas diferentes populações estudadas, não apresentou diferença estatística (Tabela 10). O fato da cultivar apresentar característica de crescimento indeterminado, pode ser apontado como um fator importante para não ter ocorrido diferença estatística na altura final das plantas. Em contrapartida, a cultivar NIDERA 6411 apresentou diferença estatística na altura média das plantas, sendo a maior altura observada na população recomendada (31 plantas  $m^{-2}$ ) e a menor na população de 16 plantas  $m^{-2}$ . A população de 31 plantas  $m^{-2}$  apresenta, estatisticamente, altura superior, quando comparada com as de 16, 23 e 39 plantas  $m^{-2}$ , sendo, respectivamente, superior em 22,76%, 16,10% e 5,22% (Tabela 10).

Tabela 10 - Valores médios da altura final de plantas de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas e zonas de manejo, em Santa Maria (RS).

População (plantas m <sup>-2</sup> )	Zona de Manejo						Altura média
	Alta		Média		Baixa		
----- <b>Nidera 6411</b> -----							
16	48,09	A* a	57,79	AB b	43,07	A c	49,65 a
23	54,44	B a	55,67	A a	47,38	B b	52,50 b
31	60,98	CD a	65,46	BC b	56,42	C c	60,95 d
39	56,89	BC a	61,85	BC b	55,05	C a	57,93 c
47	64,04	D a	58,39	AB b	57,50	C b	59,98 cd
Média	56,89	a	59,83	b	51,89	c	
CV = 2,39%							
----- <b>Tec Irga 6070</b> -----							
14	68,57	A a	70,07	A a	55,24	A b	64,63 a
21	66,45	A a	68,72	A a	52,26	A b	62,48 a
28	68,14	A a	65,42	A a	54,87	A b	62,81 a
35	78,78	B a	73,46	A ab	69,61	B b	73,95 a
42	77,60	B a	71,36	A ab	64,90	B b	71,29 a
Média	71,91	a	69,80	a	59,38	b	
CV = 4,15%							

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, sendo que as letras maiúsculas comparam as linhas e as letras minúsculas comparam as colunas.

Diferente da cultivar TEC IRGA 6070, que apresenta hábito de crescimento indeterminado, a cultivar NIDERA 6411 é de hábito de crescimento determinado, ou seja, quando a cultivar é induzida ao florescimento, ela interrompe o seu crescimento vegetativo. Através dos dados apresentados, podemos constatar que a população recomendada e as populações superiores a ela apresentaram maior altura média de planta, devido a maior competição intraespecífica, enquanto que nas inferiores foi observado o inverso (Tabela 10).

Os resultados de peso de 1000 grãos, em função da população de plantas, são contraditórios (MAUAD et al., 2010). Enquanto alguns autores não observaram efeito significativo (HEIFFIG et al., 2006), outros como Peixoto et al. (2000) e Tourino et al. (2002), observaram aumento dessa variável em função da população de plantas.

De acordo com Heiffig (2002) e Mauad et al. (2010), o peso médio de 1000 grãos é uma característica determinada geneticamente, sendo influenciada por fatores ambientais. O Teste Tukey a 5% de probabilidade revelou diferença significativa entre duas médias, para a cultivar

NIDERA 6411 (Tabela 11), nas populações de 39 e 31 plantas m<sup>-2</sup>. Já para a cultivar TEC IRGA 6070, não é observada diferença significativa em nenhuma população.

Tabela 11 - Peso médio de 1000 grãos de duas cultivares de soja, em diferentes populações de plantas, em Santa Maria (RS).

<b>População (plantas m<sup>-2</sup>)</b>	<b>Peso médio de 1000 grãos (g)</b>		
	-----	<b>Nidera 6411</b>	----
16	156,85	ab*	
23	153,13	ab	
31	145,12	a	
39	163,11	b	
47	157,75	ab	
		CV = 4,76 %	
	-----	<b>Tec Irga 6070</b>	----
14	163,42	a*	
21	159,46	a	
28	163,16	a	
35	161,36	a	
42	159,84	a	
		CV = 3,53%	

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada para a delimitação das zonas de manejo foi eficiente para agrupar áreas com potenciais produtivos distintos. Contudo, para o conjunto de dados utilizado, foi necessário analisar as diversas combinações entre os mapas de produtividade, a fim de se encontrar a combinação que apresenta maior homogeneidade temporal entre as safras. Tais combinações deixam de ser necessárias à medida em que a quantidade de mapas de produtividade aumenta, pois as variações entre anos bons e ruins são suavizadas com a quantidade maior de informações de colheita. O maior número de informações a respeito de propriedades químicas, físicas e topográficas do solo, ao longo de diferentes safras, validam as zonas de manejo, delimitadas pelos mapas de rendimento.

Em plantio fora da época recomendada, a variação da população de plantas é um fator importante, que deve ser levado em conta no momento da implantação do cultivo. Para ambas as cultivares estudadas nesse trabalho, em semeadura após a época indicada, as maiores populações apresentaram rendimentos superiores em relação às populações menores. Para a cultivar NIDERA 6411, houve interação entre os fatores população de plantas e zona de manejo produtivo, indicando uma população específica para cada zona de manejo, que proporcione a máxima eficiência técnica. Em contrapartida, a cultivar TEC IRGA 6070 não apresentou interação entre os fatores, sendo que, dessa forma, apenas uma população de plantas proporciona a máxima eficiência técnica em todas as zonas de manejo.

A população de plantas impacta de forma inversa ao número total de vagens por planta. As menores populações apresentam uma maior quantidade média de vagens. Contudo, os altos rendimentos são observados nas populações maiores, devido ao maior número de vagens por metro quadrado, resultando, dessa forma, em um maior potencial produtivo. Tal potencial pode ser expresso ou não em produtividade final de grãos, dependendo se as condições ambientais forem favoráveis para o desenvolvimento da cultura.

O aumento da população de plantas afeta de forma direta a altura final de plantas. Para as cultivares com hábito de crescimento determinado, a variação da população causa maiores variações na altura final das plantas, do que nas cultivares de hábito de crescimento indeterminado, quando semeadas após a época recomendada. O aumento da altura final de plantas, em função da população, é um comportamento desejável em plantio após à época recomendada, pois viabiliza a colheita mecanizada.

## 8 CONCLUSÕES

A metodologia empregada para distinguir as zonas com potenciais produtivos distintos foi eficiente. A combinação de mapas de rendimento que melhor representa o talhão em estudo é composto pelas safras de soja 2010/11, soja 2011/12 e soja 2013/14.

Em plantio após a época recomendada, as maiores produtividades médias foram obtidas com o aumento da população de plantas.

Nas condições de condução do experimento, recomenda-se, para a zona de alta produtividade, a cultivar NIDERA 6411, na população de 38 plantas por metro quadrado. Na zona de média produtividade também se recomenda a cultivar NIDERA 6411, porém na população de 42 plantas por metro quadrado. Já para a zona de baixa produtividade recomenda-se a cultivar TEC IRGA 6070, na população de 42 plantas por metro quadrado.

A população de plantas, em semeadura após época recomendada, impacta de forma inversa o número total de vagens por planta e de forma direta ao número de vagens por metro quadrado e a altura média de plantas.

## 9 REFERÊNCIAS

- ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C.; GIOTTO, E.; SCHOSSLER, D.; FIORIN, J. E. Agricultura de precisão: Mapas de rendimento e de atributos de solo analisados em três dimensões. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v. 7, n. 13. p. 29-41, 2011.
- ALBERTO, C. M.; STRECK, N. A. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciênc. Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, mar./abr. 2006a.
- ALBERTO, C. M. et al. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1067-1075, jul. 2006b.
- AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 42, p. 1101-1110, 2007.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (Cord.). **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. p. 99-144.
- BARROS, H. B. et al. Efeito das épocas de semeadura no comportamento de cultivares de soja, no sul do estado do Tocantins. **Rev. Ceres**, v. 50, n. 291, p. 565-572, 2003.
- BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T. Luz, umidade e temperatura. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenas, 2009. p. 17-27.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. El Niño e a agricultura da região Sul do Brasil. **EMBRAPA Trigo**, Passo Fundo, 1998 Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/agromet/elniolanina/elniño2.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- 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. **Pes. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 423-432, mai. 2005.
- BLACKMORE, B. S.; WHEELER, P. N.; MORRIS, R. M., et al. The role of precision farming in sustainable agriculture: a European perspective. **Minneapolis/USA**, p. 13 1994.
- BLACKMORE, B. S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield maps data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, p. 455-466, 2003.
- BOURENNANE, H. et al. Exploring the spatial relationships between some soil proprieties and wheat yields in two soil types. **Precision Agriculture**, v. 05, p. 521-536, 2004.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: LANARV/SNDA, 365p. 1992.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30).

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

BUSANELLO, C.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; MENEGOL, D. R. Caracteres agronômicos da cultura da soja submetida a diferentes densidades populacionais na região norte do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, Centro científico Conhecer. Goiânia, v. 9, n. 17, p. 509-517, 01 dez. 2013.

BUTZEN, S.; GUNZENHAUSER, B. Putting variable-rate seeding to work on your farm. **Crop Insights**. v. 19, n. 15, 2010.

CÂMARA, G. M. S **Desempenho produtivo dos cultivares de soja IAC\_17, IAC-12 e IAC-19, semeados em três épocas de semeadura e em cinco densidades de plantas**. 1998. 165p. Tese (Livre-Docência) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1998.

CÂMARA, G. M. S. Preparo do Solo e Plantio. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Soja do plantio a colheita**. 22. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2015. cap. 4, p. 66-109.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994

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

CASSEL, D. K.; WENDROTH, O.; NIELSEN, D. R. Assessing spatial variability in an agricultural experimental station field: Opportunities arising from spatial dependence. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 706-714, 2000.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p. 249 – 290, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo – Núcleo Regional Sul, Porto Alegre, 400 p., 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos**. v.5 –Safra 2015/16. Quinto levantamento, Brasília, p.182. Fev. 2016.

COSTA, J. A.; MARCHEZAN, E. Características dos estádios de desenvolvimento da soja. **Fundação Cargil**. Campinas, p. 30, 1993.

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

DEBORTOLI, M. P. et al. Efeito do arranjo de plantas sobre o progresso de ferrugem asiática na soja. **Rev. Socied. Bras. Fitopat.** Salvador, v. 31, n. 1, p. 129, 2006.

DOBERMANN, A.; PING, J. L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 1, p. 285-297, 2004.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.)**. 2007. 149f. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

DUTRA, L. M. C. et al. População de plantas em soja. In. REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 35, 2007, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007, p. 95.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. [S.1]: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, p. 255, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 412, 2013.

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

FENDRICH, R. Chuva e produtividade da soja na fazenda Gralha Azul da PUCPR. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, v. 1, n. 2, p. 37-46, 2003.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FREDDI, O. da S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 32, p. 953-961, 2008.

GAUDÊNCIO, C. A. A. et al. **População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o Centro-Sul do Estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA, n. 47, p. 1-4, 1990.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 29, p. 169-177, 2005.

GRIMM, A. M.; GUETTER, A. K.; CARAMORI, P. H. **El Niño no Paraná: o que se pode esperar em cada região. Uma análise científica**. **SIMEPAR** - Informativo, n. 1, 1997.

HAUSCHILD, F. E. G. Técnicas de agricultura de precisão para definição de zonas de manejo de solo. 2014, 85p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Colégio Politécnico da UFSM, Santa Maria, 2013.

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. 2002, 97 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

HEIFFIG, L. S.; et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285-295, abr./jun. 2006

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 48 p.

JIANG, H.; EGLI, D. B Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soyben. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n. 2, p. 221 – 255, 1993.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática Vegetal, um enfoque filogenético**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 632 p.

LUDWIG, M. P. et al. Efeito da densidade de semeadura e genótipos no rendimento de grãos e seus componentes na soja semeada após a época indicada. **Rev. FZVA**, Uruguaiiana, v. 14, n. 2, p. 13-22, 2007.

LUDWIG, M. P. et al. Características morfológicas de cultivares de soja convencionais e *Roundup Ready<sup>TM</sup>* em função da época e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, 2011.

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

MALLARINO, A. P.; WITTRY, D. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. **Precision Agriculture**, v.5, p. 131-144, 2004.

MARKOS, D.; PAL, U. R.; URAGIE, E. Selection of planting pattern and plant population density (PPD) for medium and late maturing soybean varieties (*Glycine max* (L.) Merrill) in tropics. **Innovative Systems Design and Engineering**. v. 2, p. 242-249, 2011.

MARTINS, M. C. **Desempenho produtivo de três cultivares de soja em duas épocas de semeadura e em cinco densidades de plantas**. 1999. 84p. Dissertação (Mestrado Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1999.

MATSUO, E.; FERREIRA, S. C.; SEDIYAMA, T. Botânica e Fenologia. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Soja do plantio a colheita**. 22. Ed. Viçosa: UFV, 2015. cap. 2, p. 27-53.

MAUAD, M. et al. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

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

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient**. v. 7, n. 2, p. 367-374, 2003.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** v. 8, n. 1, p. 126-134, 2004.

MERCANTE, E., et al. Variabilidade temporal da produtividade da soja em uma área experimental com e sem manejo químico localizado utilizando semivariogramas escalonados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004, 1 CD-ROM.

MILANI, L. et al. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉ, A. (Org.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, 2000. p. 237-258.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, 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 populações de milho. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 26, n. 2, p. 528-536, 2006.

MOORE, M. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management. Cranfield: Cranfield University, 1998. 379p. PhD Thesis.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, p. 46, 1961.

MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. Key process and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F.J. e SADLER, E.J., eds. **The state of site-specific management for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1997. p.1-18.

NAKAGAWA, J.; MACHADO, J. R.; ROSOLEM, C. A. Efeito da densidade de plantas e da época de semeadura na produção e qualidade de semente de soja. **Rev. Bras. Sementes**, v. 8, n. 3, p. 99-122, 1986.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA A. C. V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 35, p. 1025-1036, 2011.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R. C. T.; DESTRO, D. Estádios de desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina, PR: Mecenias, 2013. p. 15-44.

OLIVEIRA, A. C. B.; ROSA, A. P. A. da (Ed.). Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016. **EMBRAPA Clima Temperado**, Pelotas, In: XL Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, 2014. EMBRAPA Clima Temperado Documentos 382. Disponível em :<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1011192/1/IndicacoesTecnicasEmbrapa003.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

PADNEY, J. P.; TORRIE, J. H. Path coefficient analysis of seed yield components in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 5, p. 505-507 1973

PEIXOTO, C. P.; et al. Épocas de semeadura e densidade populacional de plantas de soja: I Componentes da produção e rendimento de grãos. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 57, n.1, p. 89-96, 2000.

PIRES, J. L. F. et al. Efeitos de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, ago. 2000.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A. (Org.). In: **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 2-42, 2000.

RAMBO, L. et al. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciênc. Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, mai./jun. 2003.

RAMBO, L. et al. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciênc. Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 33-40, jan./fev. 2004.

RODRIGUES, O. et al. Rendimento de grãos de soja em semeadura tardia. **Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online**, 2008.

ROLOFF, D. J.; FORCHT, D. Mapeamento dos atributos do solo malha ou zona de manejo. In: BALASTREIRE, L.A. **Avanços na agricultura de Precisão do Brasil no período de 1999 – 2001**. Piracicaba, 2002. p. 104-114.

RUBIN, S. A. L. Comportamento da cultivar “FEPAGRO-RS 10” em seis densidades de semeadura ano planalto médio riograndense. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25., 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA, 1997. 187 p.

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

SANTI, A. L. et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 47, p. 1346-1357, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C. et al. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.**, Recife, v. 8, n. 3, p. 510-515, 07 fev. 2013.

SANTOS, A. O.; UNGARO, M. R. G.; LINO, A. C. L. Considerações sobre o delineamento de zonas “potenciais” de manejo a partir de dados de solo-planta-clima. In: **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**. CD-Room, Piracicaba, SP – ESALQ/USP, 2004.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS H. B.; Cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenas, 2009. p. 77 – 91.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Embrapa Soja, 2008.

SILVA, A. F. da; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A. Exigências Edafoclimáticas. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Soja do plantio a colheita**. 22. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2015. cap. 3, p. 54-65.

SILVA, F. L. et al. Época de semeadura e densidade de plantas. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Soja do plantio a colheita**. 22. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2015. cap. 9, p. 198-213.

STORCK, L.; LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D. C. **Experimentação II**. Santa Maria, 2004. ed. 2, p. 205.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; OPAZO, M. A. U.; NÓBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Eng. Agríc.** v. 31, n. 5, p. 895-905, 2011.

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

TOURINO, M. C. C.; REZENDE P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, ago. 2002.

VALERIANO, M. M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 25, p. 997-1005, 2001.

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

VENTIMIGLIA, L. A. et al. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 195-199, fev.1999.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 33, p.743-755, 2009.

VIEIRA JÚNIOR, P. A. et al. População de plantas e alguns atributos do solo relacionados ao rendimento de grãos de milho. **Acta Sci. Agron.** v. 28, n. 4, p. 483-492, 2006.

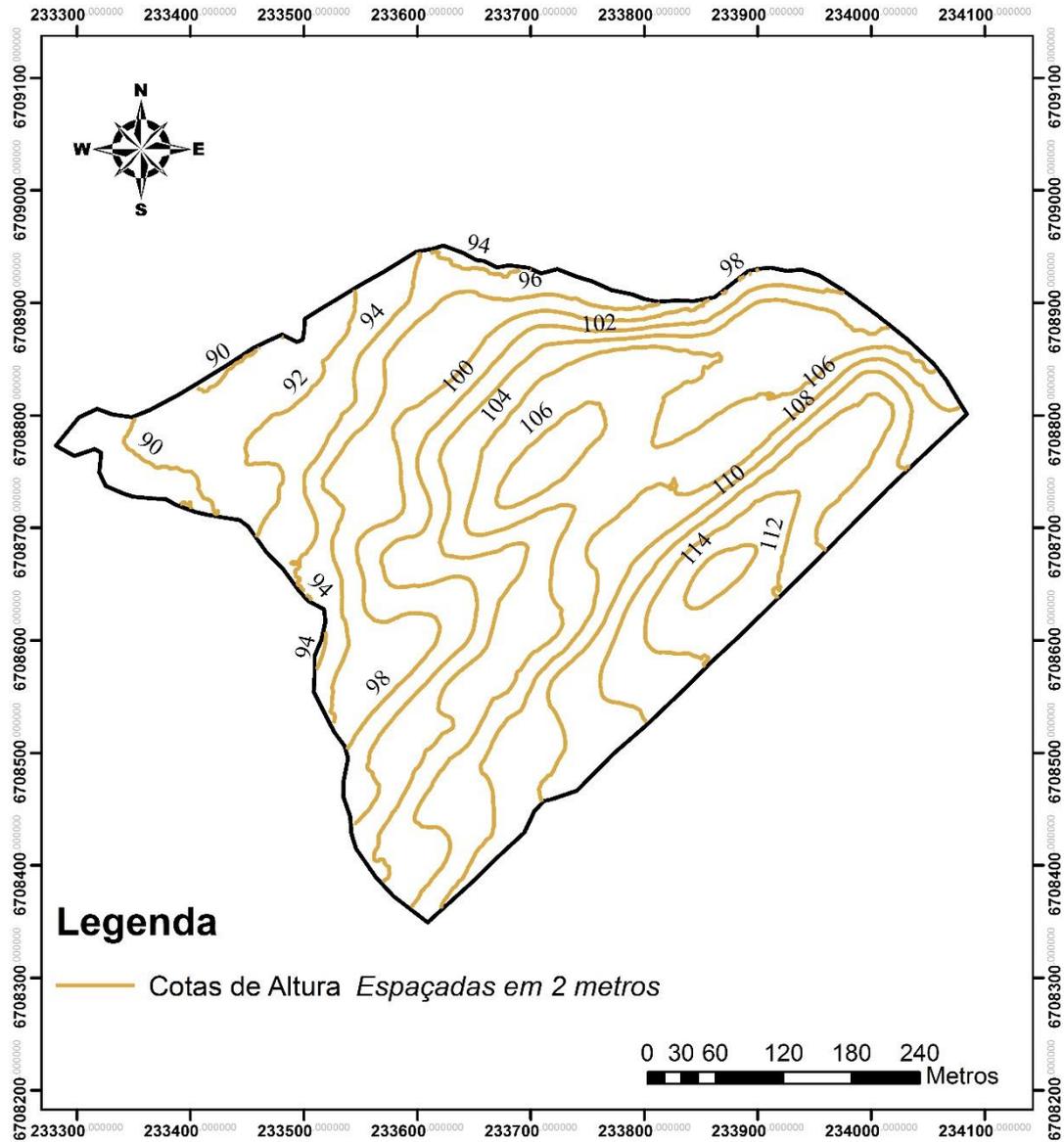
YAMAMOTO, J.K. LANBIM, P.M.B. **Geoestatística: Conceitos e aplicações**, São Paulo. Oficina de Textos, 2013.

**APÊNDICE A – AJUSTES GEOSTATÍSTICOS DOS MAPAS**

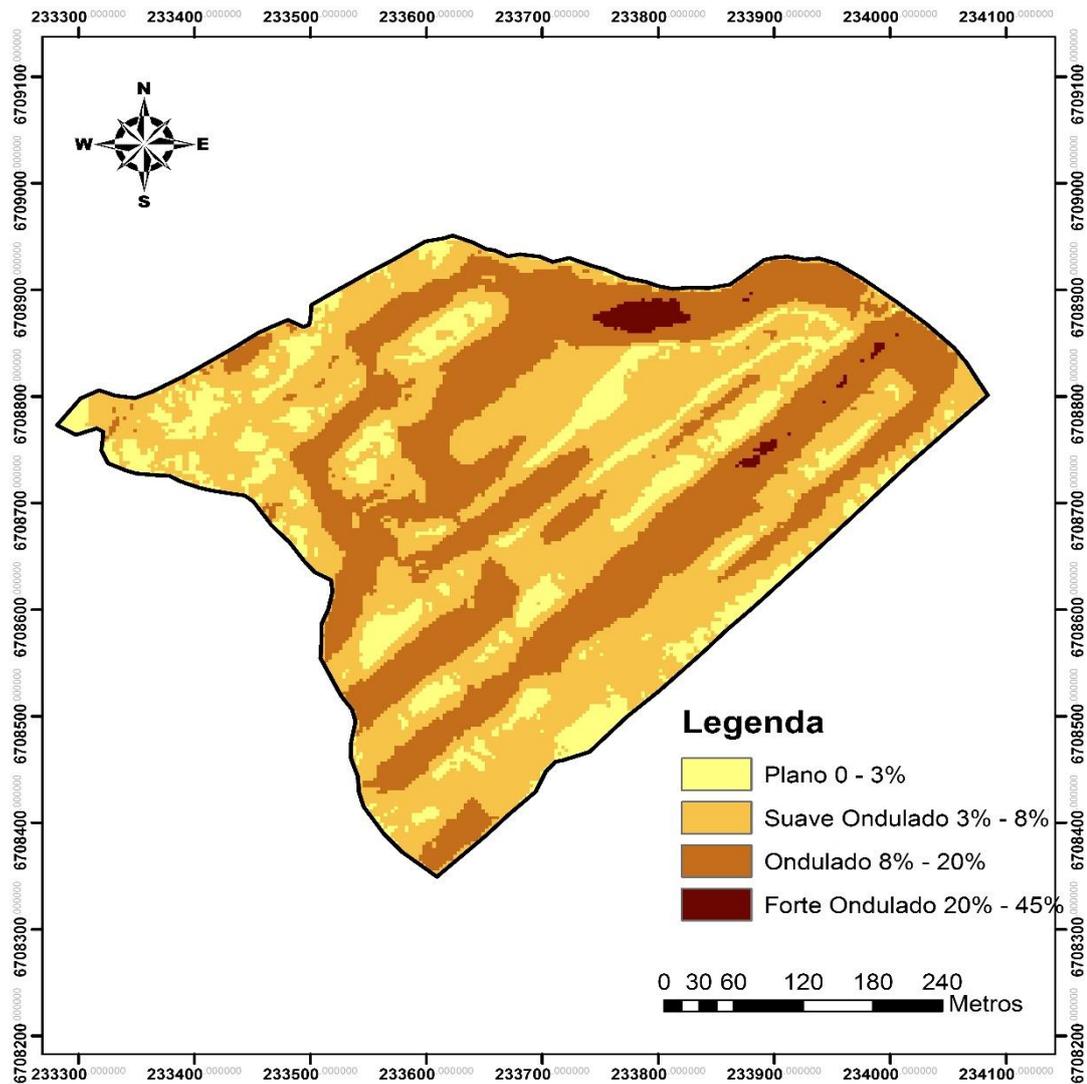
Conjunto de dados	Ajuste ao variograma experimental					Validação cruzada			
	Modelo	Residual	$1R^2$	$2C_0$	Patamar $3DE$ (%)	Leg (m)	Intervalo (m)	$4R^2$	
Dados Normalizados (Mapa Final)	Exponencial	$8.31 \cdot 10^{-7}$	0.99	0.00065	0.013	5.0	389	25	0.841
Soja 2014	Exponencial	672816	0.98	3010	31750	9.4	100	25	0.324
Trigo 2012	Exponencial	$1.12 \cdot 10^{-7}$	0.96	8000	51300	15.5	210	30	0.487
Soja2012	Exponencial	$3.83 \cdot 10^{-8}$	0.99	112000	544100	20.5	300	20	0.668
Soja2011	Exponencial	$3.28 \cdot 10^{-9}$	0.98	119000	614300	19.3	300	20	0.728

1 Coeficiente de correlação dos dados ao variograma experimental. 2 Efeito pepita. 3 Dependência espacial dos dados. 4 Coeficiente de correlação entre os dados estimados e os ajustados pela interpolação (Krigagem).

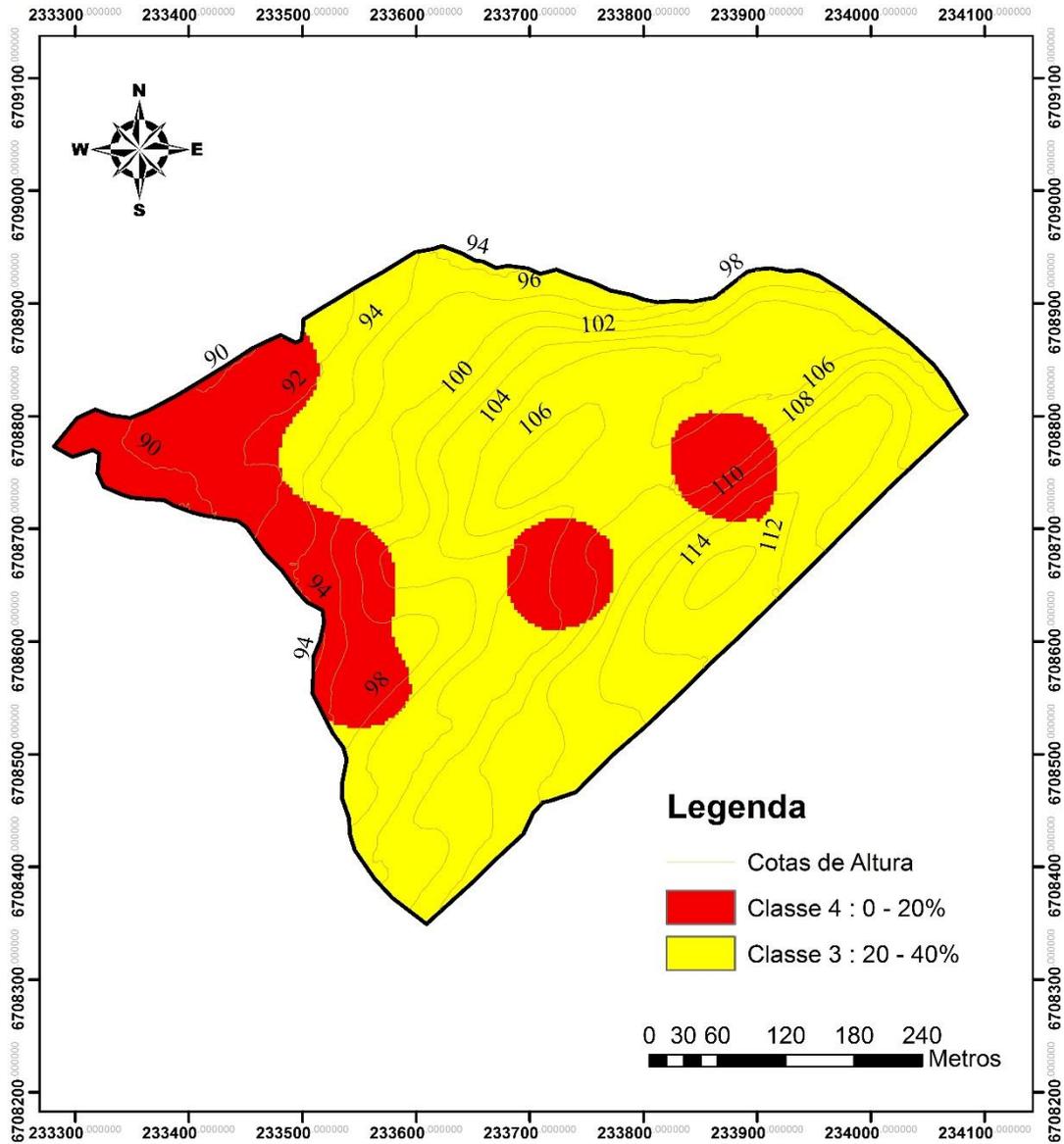
## APÊNDICE B – MAPA DE ALTURA ELIPSOIDAL DO TALHÃO



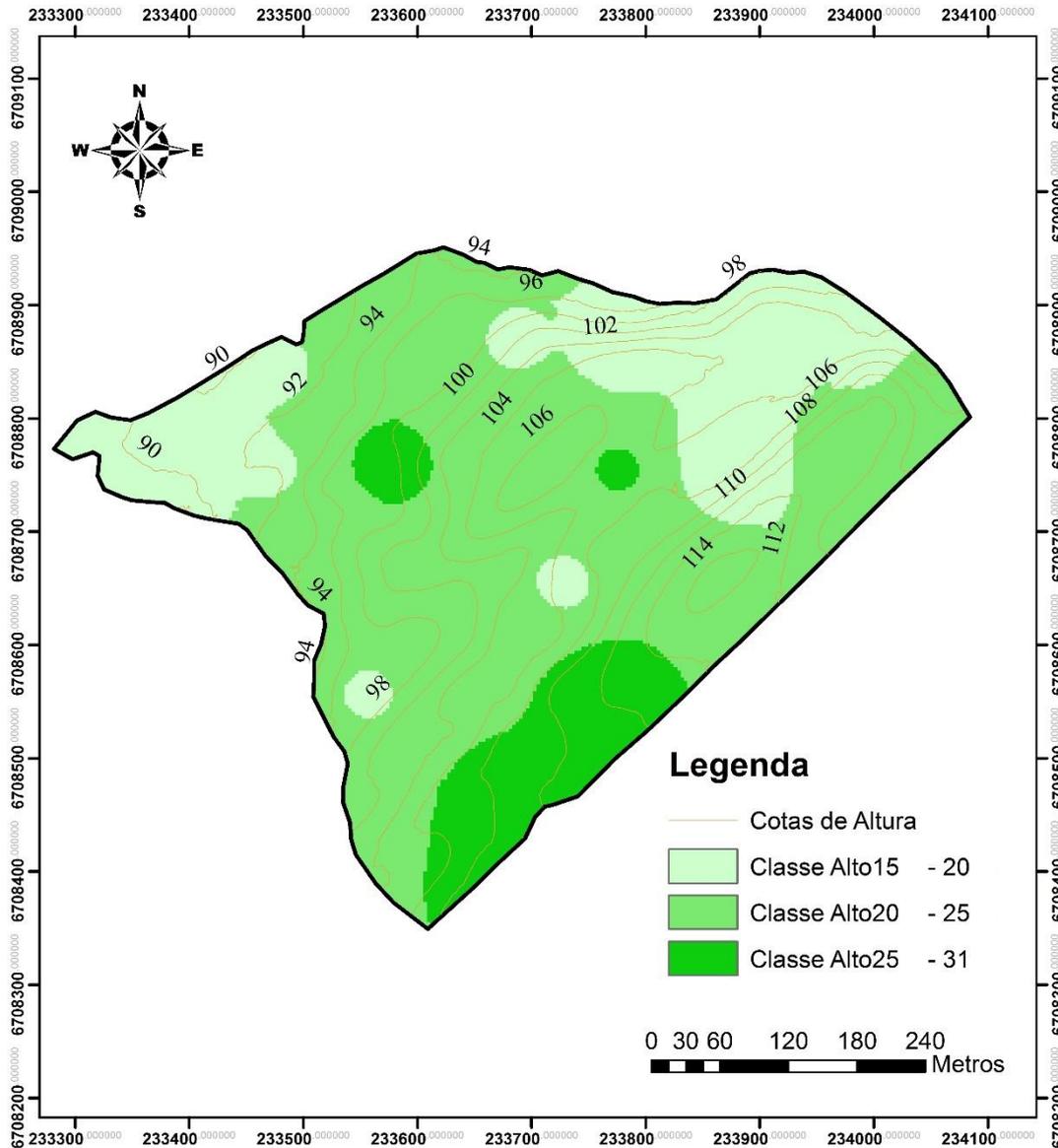
## APÊNDICE C – MAPA DE DECLIVIDADE DO TALHÃO



## APÊNDICE D – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TEORES DE ARGILA

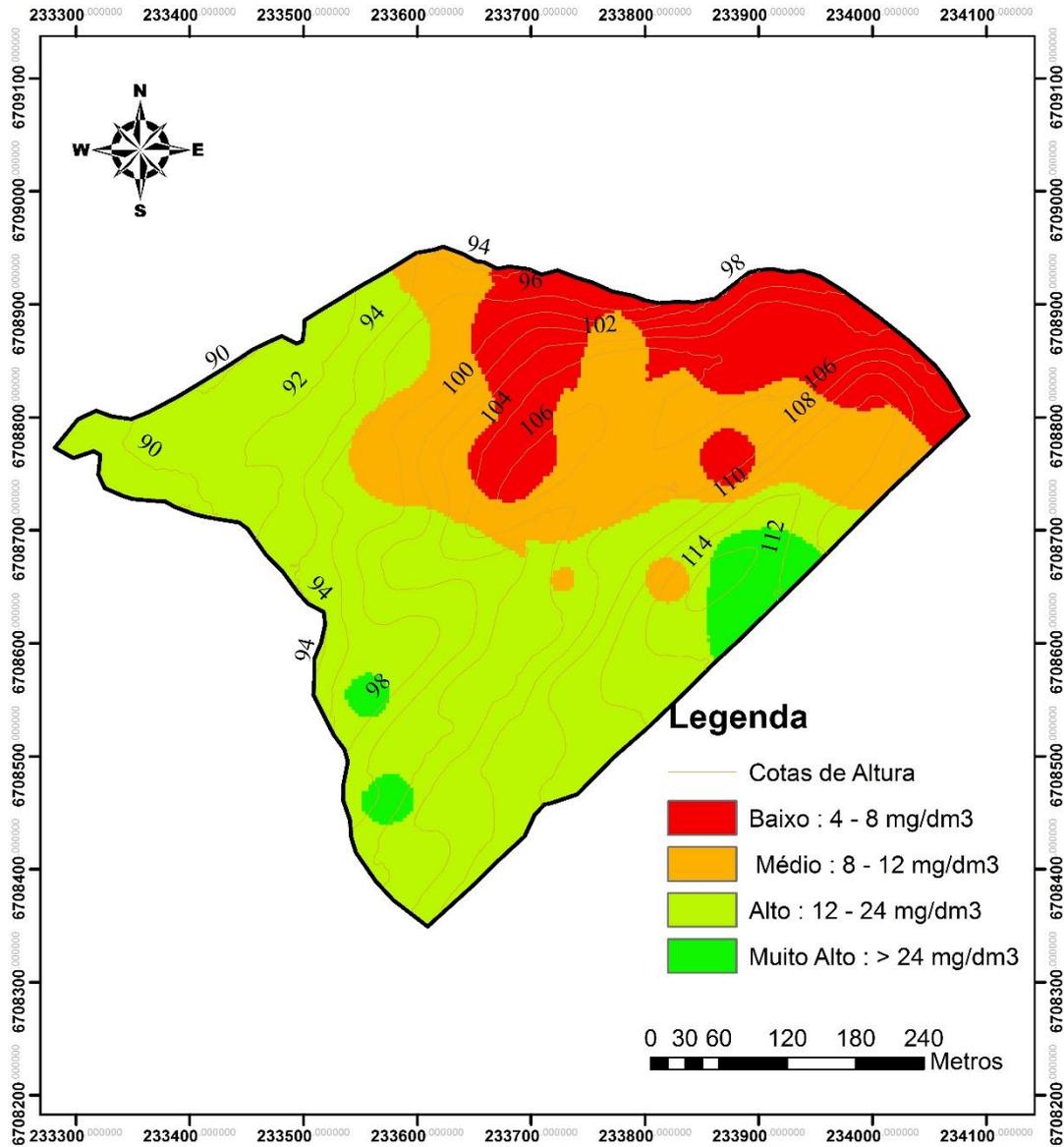


## APÊNDICE E – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CTC PH7 (CMOL<sub>c</sub> DM<sup>-3</sup>)

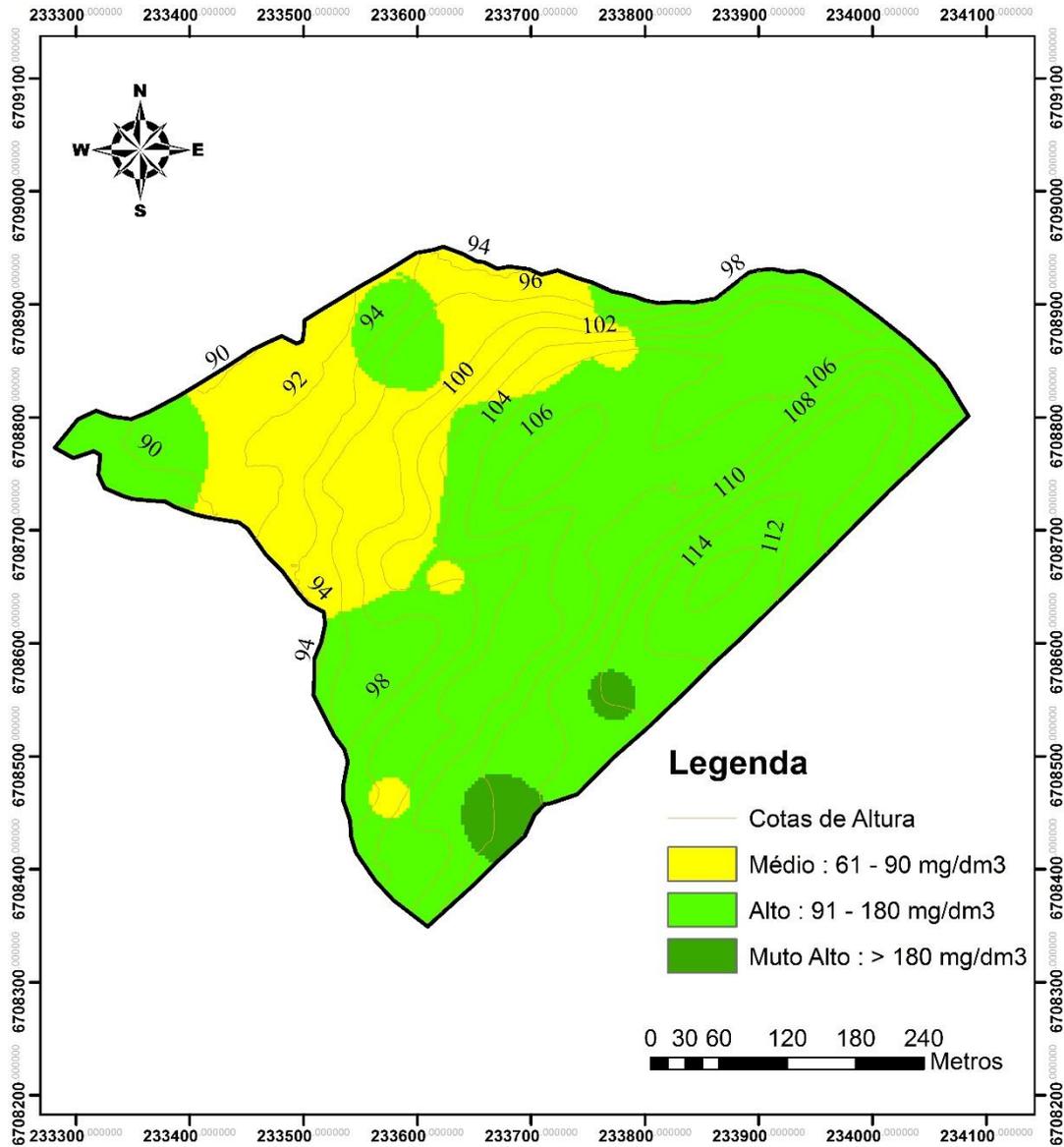


Segundo o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO, 2004) os valores de CTC pH 7, a cima de 15  $\text{cmol}/\text{dm}^3$  são interpretados como altos. Desta forma a legenda do apêndice E é a divisão dos valores da CTC pH7 do talhão em três classes equidistantes, com o intuito de visualizar os diferentes valores existentes. Por esse motivo as três classes são consideradas como alto, pois seguem a classificação de interpretação Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO, 2004).

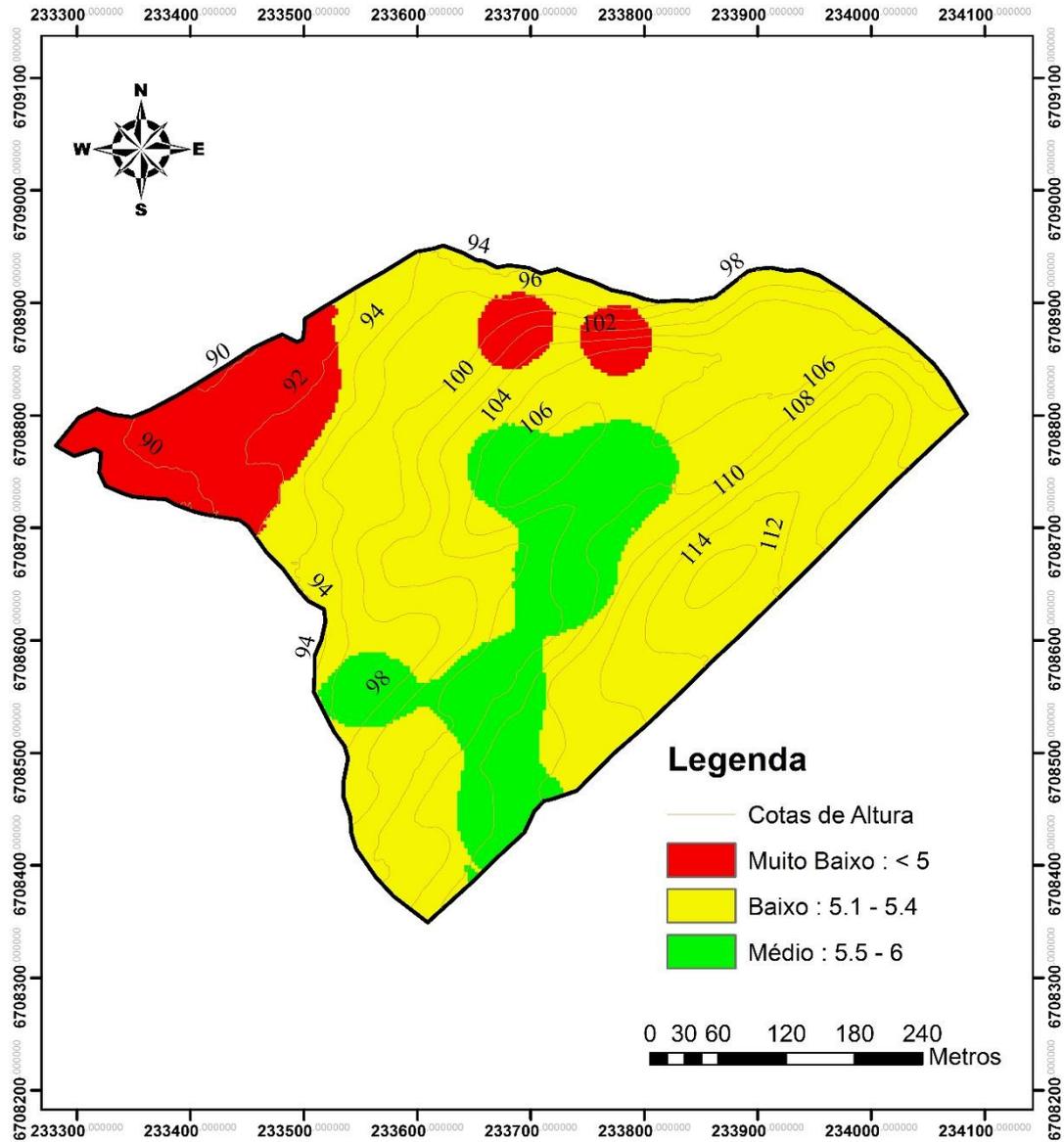
## APÊNDICE F – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TEORES DE FÓSFORO



## APÊNDICE G – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TEORES DE POTÁSSIO



## APÊNDICE H – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO PH EM ÁGUA



## APÊNDICE I – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SATURAÇÃO POR BASES

