

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PLANTAS NA  
FILEIRA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE  
DA CULTURA DO MILHO**

**TESE DE DOUTORADO**

**Tiago de Andrade Neves Hörbe**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PLANTAS NA FILEIRA  
E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA  
CULTURA DO MILHO**

**Tiago de Andrade Neves Hörbe**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do solo, da  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Ciência do Solo.**

**Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

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

Hörbe, Tiago de Andrade Neves  
Distribuição espacial de plantas na fileira e sua  
relação com a produtividade da cultura do milho / Tiago  
de Andrade Neves Hörbe.-2015.  
66 p.; 30cm

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015

1. Distribuição de plantas 2. Competição intra-  
específica 3. Zea mays 4. Nitrogênio I. Amado, Telmo  
Jorge Carneiro II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Tiago de Andrade Neves Hörbe. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: tiagohorbe@hotmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PLANTAS NA FILEIRA E SUA  
RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO**

elaborada por  
**Tiago de Andrade Neves Hörbe**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Ciência do Solo**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Antônio Luis Santi Dr. (UFSM)**

---

**Thomas Newton Martin, Dr. (UFSM)**

---

**Geovane Reimche, Dr. (UFSM)**

---

**Christian Bredemeier, Dr. (UFRGS)**

Santa Maria, 12 de janeiro de 2015.

**“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes.” (*Albert Einstein*)**

Aos meus pais André e Jussara Hörbe, pelo amor, educação e ensinamentos.

**Dedico este trabalho**

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, agradeço a Deus por sempre guiar meus passos e colocar pessoas especiais no meu caminho.

Em especial, aos meus pais André e Jussara Hörbe e minha irmã Tatiane que sempre me apoiaram e incentivaram a seguir em frente e alcançar meus objetivos. A vocês só tenho a agradecer por tudo que fizeram por mim, por me ensinarem a importância da honestidade e a construir os meus próprios valores como pessoa. Obrigado pelo amor, pela compreensão e confiança em mim depositada.

Ao professor Telmo Jorge Carneiro Amado, que sempre foi mais do que um orientador, é um amigo com quem sempre posso contar. Obrigado por acreditar em mim.

Aos colegas de projeto Fernando Hansel, Brian Trindade, Tiago Teixeira, Thiago Segabinazi, Cristian Nienow e Raí Schawberlt pela amizade, conhecimentos compartilhados e que ajudaram muito na execução do trabalho.

Aos colegas de pós-graduação pelas conversas e parceria.

Aos professores do Departamento de Solos, pelas conversas e pelo aprendizado durante o curso.

Aos colegas de laboratório pela convivência e pela amizade criada ao longo desses anos. Agradeço-os pelo convívio e conhecimento compartilhado ao longo desse período.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PLANTAS NA FILEIRA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO**

AUTOR: TIAGO DE ANDRADE NEVES HÖRBE  
ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO  
Santa Maria, 12 de janeiro de 2015.

A diminuição da variabilidade na distribuição de plantas na fileira e o aumento da eficiência da fertilização nitrogenada são importantes visando o manejo para altas produtividades na cultura do milho. Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade de semeadura proporcionada por dois sistemas de semeadora no arranjo espacial de plantas e quantificar o efeito do erro de espaçamento entre plantas na fileira no vigor de planta e na produtividade do milho e ainda a eficiência da utilização da dose variável de nitrogênio (DVN) nos diferentes sistemas de semeadora. O estudo foi desenvolvido em Carazinho-RS nos anos agrícolas 2012/13 (Experimento I) e 2013/14 (Experimento II) sendo os tratamentos: a) semeadora com sistema mecânica e dosador em discos horizontais (SM); b) semeadora com sistema pneumática e organizador de sementes (SP); c) semeadora com sistema pneumático e organizador de sementes acoplado a trator com piloto automático e sinal RTK (SPP). O estudo foi conduzido em parcelas principais de 6.600 e 990m<sup>2</sup> para os experimentos I e II, respectivamente e em sub parcelas visando o estudo planta a planta com parcelas de 4,05 m<sup>2</sup>. Ainda, um estudo de caso foi direcionado na forma de transectos de 5 plantas onde investigou-se o efeito do erro de espaçamento entre plantas na fileira no vigor e na produtividade da cultura. A avaliação da eficiência da DVN foi realizada na área do Experimento II, sendo as faixas principais para os sistemas de semeadora e a DVN e a dose fixa de nitrogênio (DFN) subdividas nas faixas principais. A qualidade de semeadura foi afetada pelo sistema da semeadora não tendo sido observado efeito da utilização do piloto automático, sendo a melhor distribuição obtida no tratamento SP, com um CV de 25,4 e 19,7 % para os experimentos I e II, respectivamente. O melhor arranjo espacial de plantas no SP em relação ao SM, com uma redução de aproximadamente 16 pontos percentuais no CV do espaçamento entre as plantas para os dois experimentos na parcela principal, resultou em incremento de 12,5 e 6,8% na produtividade, respectivamente. Além disso, o uso de piloto automático e sinal RTK (SPP) incrementou em 7 % a produtividade em relação ao SP no primeiro experimento. No estudo em sub parcelas, no qual foi avaliando a produtividade individual de plantas ao longo da fileira de semeadura, no SP observou-se apenas 2% das plantas com produtividade inferior a 8.500 kg ha<sup>-1</sup> para o experimento I e 10% abaixo de 6.500 kg ha<sup>-1</sup> para o II. Já, no SM a frequência das plantas abaixo destas produtividades foi de aproximadamente 18% para os dois experimentos, sendo estes resultados atribuídos a maior ocorrência de plantas dominadas, o que se justificou nas avaliações de vigor de planta pelo índice de vegetação por diferença normaliza (NDVI), através da uniformidade das avaliações e dos maiores índices no SP em relação ao SM. No estudo da DVN no Experimento II, o efeito negativo que se tem com uma distribuição irregular de plantas foi minimizado pela DVN, no entanto quando associado a uma distribuição de plantas mais uniforme em um ambiente com capacidade produtiva maior, mesmo em um ano com restrições hídricas a produtividade é potencializada. Na investigação do erro na distribuição de plantas através do estudo de caso, constatou-se que os índices de NDVI e a produtividade do milho são afetados negativamente para cada 10% de aumento no CV, sendo o decréscimo na produtividade de 1.356 e 815 kg ha<sup>-1</sup> para o experimento I e II, respectivamente, demonstrando-se a importância da distribuição das plantas próximo da equidistância nas fileiras.

**Palavras-chave:** Distribuição de plantas. Competição intra-específica. Zea mays. Nitrogênio.

## **ABSTRACT**

Doctor Thesis in Soil Science  
Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **PLANT SPACE DISTRIBUTION IN ROW AND ITS RELATIONSHIP WITH CORN CROP PRODUCTIVITY**

**AUTHOR: TIAGO DE ANDRADE NEVES HÖRBE**

**ADVISOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO**

Santa Maria, January, 12<sup>th</sup>, 2015.

Decreased variability in the distribution of plants on line and increased nitrogen fertilization efficiency are important order management for high yields in corn. The objective of this study was to evaluate the quality of sowing provided by two types of planting the spatial arrangement of plants and quantify the effect of spacing error between plants in plant vigor and productivity of maize and also the efficient use of dose nitrogen variable (DVN) in the different cultivation systems. The study was conducted in Carazinho-RS in the agricultural years 2012/13 (Experiment I) and 2013/14 (Experiment II) with the treatments: a) mechanical seeder feeder with horizontal discs (SM); b) air seeder and seeds organizer (SP); c) air seeder and seeds organizer coupled to tractor with autopilot and RTK signal (SPP). The study was conducted in macro plots of 6,600 and 990m<sup>2</sup> for the experiments I and II respectively and in micro plots for the study plant to plant with plots of 5.4 m<sup>2</sup>. Still, a case study was directed in the form of transects of 5 plants which investigated the effect of spacing error between plants vigor and productivity of the crop. The evaluation of DVN efficiency was held in Experiment II area, the main tracks for cultivation systems, the DVN and the fixed dose of nitrogen (DFN) divided into the main tracks. The sowing quality was affected by the type of seed feeder and had no effect on the use of the autopilot, and the best distribution obtained in treating SP, with a CV of 25.4 and 19.7% for the experiments I and II respectively. The best spatial arrangement of plants in the SP in relation to MS, with a reduction of approximately 16% in the CV spacing between plants in both experiments in the macro share resulted in an increase of 12.5 and 6.8% in productivity, respectively. Furthermore, the use of autopilot and RTK signal (SPP) increased by 7% relative to the productivity SP in the first experiment. In the study of micro plots, which was evaluating the individual productivity of plants in the planting line, the SP there was only 2% of plants with lower productivity at 8,500 kg ha<sup>-1</sup> for the first trial and 10% below 6500 kg ha<sup>-1</sup> to II. Already, in the SM the frequency of plants below these productivity was approximately 18% in both experiments, and these results attributed to higher occurrence of dominated plants, which was justified in force assessments plant by NDVI through the uniformity of assessment and of the highest rates in the SP relative to the SM. In the study of DVN in Experiment II, the negative effect that has an unusual distribution of plants was minimized by DVN, however when associated with a more uniform distribution of plants in an environment with greater productive capacity, even in a year with restrictions water productivity is enhanced. In the investigation of error in the distribution of plants through the case study, it was found that the NDVI indices and grain yield are negatively affected for every 10% increase in CV, and the decrease in productivity of 1,356 and 815 kg ha<sup>-1</sup> for experiment I and II, respectively, demonstrating the importance of the distribution of the plants near the equidistance lines.

**Keywords:** Distribution of plants. Intraspecific competition. *Zea mays*. Nitrogen.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1.</b>	Características químicas do solo 0-0.15 m nos blocos avaliados.....	28
<b>Tabela 2.</b>	População de plantas e coeficiente de variação das fileiras avaliadas para SM e SP no (I) e (II).....	29
<b>Tabela 3.</b>	Qualidade de semeadura (CV%), índice de vegetação (IV) e produtividade de grãos de milho para os dois anos de estudo na parcela principal.....	30
<b>Tabela 4.</b>	Qualidade de semeadura (CV%), NDVI e produtividade de grãos de milho para os dois anos de estudo na subparcela .....	31

### CAPÍTULO II

TABELA 1.	Características químicas do solo 0-0.15 m nos blocos avaliados.....	56
TABELA 2.	População de plantas e coeficiente de variação das fileiras avaliadas para SM e SP.....	57

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Distribuição das chuvas e chuva acumulada ao longo do ciclo da cultura para o Experimento I e Experimento II..... 32
- Figura 2.** Ilustração da variabilidade da distribuição entre plantas na fileira (um estudo de caso em transectos de 5 plantas)..... 33
- Figura 3.** Distribuição do espaçamento entre plantas na parcela principal para a Semeadora mecânica e Semeadora pneumática no Experimento I e II..... 34
- Figura 4.** Relação do índice de vegetação (IV) e produtividade média de grãos para Semeadora mecânica (A), Semeadora pneumática (B) e Semeadora pneumática e piloto automático (C) para o Experimento I e II..... 35
- Figura 5.** Distribuição do espaçamento entre plantas na subparcela para a Semeadora mecânica e Semeadora pneumática no Experimento I(A) e no Experimento II (B)..... 36
- Figura 6.** Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e produtividade média de grãos planta a planta para Semeadora mecânica no Experimento I(A) e Experimento II (C) e para Semeadora pneumática no Experimento I (B) e Experimento II (D) ..... 37
- Figura 7.** Variabilidade da distribuição de plantas na fileira avaliada pelo CV e a relação com NDVI da cultura para o Experimento I (A) e para o Experimento II (B) e a variabilidade da distribuição de plantas na fileira avaliada pelo DP e a relação com o NDVI da cultura para Experimento I (C) e para o Experimento II (D) ..... 38
- Figura 8.** Variabilidade da distribuição de plantas na fileira avaliada pelo CV e a relação com a produtividade da cultura para o Experimento I (A) e para o Experimento II (B) e a variabilidade da distribuição de plantas na fileira avaliada pelo DP e a relação com a produtividade da cultura para o Experimento I (C) e para o Experimento II (D) ..... 39

## CAPÍTULO II

FIGURA 1. Distribuição das chuvas e chuva acumulada ao longo do ciclo da cultura para o experimento.....	58
FIGURA 2. Variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente de 0-0,30m para a área de estudo .....	59
FIGURA 3. Distribuição do espaçamento entre plantas para SM e SP .....	60
FIGURA 4. Índice de vegetação (IV) da cultura para SM e SP na ZA (a) e (c) e para ZB (e) e (g) e dose variável de N estimada por sensor óptico e a dose referência para SM e SP na ZA (b) e (d) e para ZB (f) e (h).....	61
FIGURA 5. Produtividade de grãos em função do sistema de semeadura com dose fixa de nitrogênio em ZB e ZA (A) e (C) e com dose variável de nitrogênio em ZB e ZA (B) e (D).....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Hipótese .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>14</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	14
1.2.2 Objetivo específico .....	14
<b>2 Capítulo 1 – Precisão na distribuição de plantas e sua relação com o vigor de plantas e a produtividade de milho no Sul do Brasil.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Resumo .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Introdução .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Material e métodos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Resultados e discussões .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 Variabilidade no espaçamento entre plantas influenciada pelo tipo de Semeadora.....	20
2.4.2 Relação da precisão do espaçamento entre plantas com o vigor e a produtividade do milho.....	21
2.4.3 Variabilidade planta a planta do NDVI e da produtividade do milho induzida pelo tipo de semeadora .....	22
2.4.4 Arranjo espacial de plantas na fileira e sua relação com o NDVI e a produtividade do milho com base na avaliação planta a planta: Estudo de caso.....	24
<b>2.5 Conclusões .....</b>	<b>25</b>
<b>2.6 Agradecimentos .....</b>	<b>25</b>
<b>2.7 Referências .....</b>	<b>25</b>
<b>3 Capítulo 2 – Influência da variabilidade na distribuição espacial de plantas de milho e da dose variável de nitrogênio na produtividade de grãos no Sul do Brasil .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Resumo .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2 Introdução .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Material e métodos .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4 Resultados e discussões .....</b>	<b>46</b>
3.4.1 Variabilidade no espaçamento entre plantas influenciada pelo tipo de semeadora.....	46
3.4.2 Relação da variabilidade no espaçamento entre plantas e da forma de aplicação de nitrogênio com a produtividade do milho .....	47
<b>3.5 Conclusões .....</b>	<b>50</b>
<b>3.6 Referências .....</b>	<b>50</b>
<b>4 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>66</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

O melhoramento genético dos híbridos, associado a práticas culturais como a redução do espaçamento entre linha da cultura e o aumento da população de plantas, modificou a dinâmica do arranjo de plantas da cultura, sendo esta uma das práticas culturais que mais tem afetado a produtividade de grãos de milho visando altas produtividades (ARGENTA et al., 2001 & SANGOI et al., 2010). Neste sentido, tem-se observado que para a população de plantas, a produtividade não aumenta linearmente com o aumento da população, existindo um nível ótimo que será determinado pelas condições de cada ambiente (DOURADO NETO et al., 2001; BRAGACHINI et al., 2010 & HÖRBE et al., 2013). E isso se deve ao fato da limitada capacidade da cultura em produzir afixos férteis, produzindo uma espiga por planta e ainda a sua elevada sensibilidade a competição intra-específica (ANDRADE & SADRAS, 2003; VIEIRA JUNIOR et al., 2006; SANGOI et al., 2011).

Além disso, a distribuição das plantas passa a ter grande importância pelo fato de que as plantas não se distribuem de forma equidistante na lavoura (VIEIRA JUNIOR et al., 2006), o que também diminuiu a sua eficiência na interceptação da radiação solar (KINIRY et al., 2002), e o aproveitamento de água e nutrientes o que resultará em plantas dominadas na lavoura desde seus estádios iniciais, resultando em um menor número de grãos por planta (MADDONI & OTEGUI, 2004). Neste sentido, decréscimos na produtividade tem sido relatados a medida que se aumenta a irregularidade na distribuição das plantas na lavoura (VIEIRA JUNIOR et al., 2006; HORN, 2010 & SANGOI et al., 2012).

No Brasil por mais que em alguns produtores a produtividade da cultura do milho seja superior aos 10.000 kg ha<sup>-1</sup>, a nossa produtividade média é de aproximadamente 4.200 kg ha<sup>-1</sup>, ficando bem abaixo quando comparada com a dos EUA que varia entre 9.000 a 10.000 kg ha<sup>-1</sup> (Glat, 2010). Esta baixa produtividade pode estar associada ao fato da irregularidade na distribuição de plantas nas lavouras brasileiras (SCHIMANDEIRO et al., 2006), sendo o predomínio ainda de semeadoras mecânicas com dosadores em disco e o uso de semeadoras pneumáticas ainda incipiente. Outro fator que pode estar relacionado são as baixas doses de nitrogênio (N), sendo a sua insuficiência um dos fatores mais limitantes a produtividade da cultura.

No solo, a disponibilidade de N para as plantas é controlada, pela quantidade de N mineralizado de frações labéis da matéria orgânica do solo (MOS), tipo e quantidade de resíduos culturais aportados e por adubações nitrogenadas (AMADO et al., 2002)

apresentando uma elevada variação espacial e temporal quanto a sua disponibilidade no solo (CASA et al., 2011). Fertilizações em dose fixa de N, levando em consideração condições médias de um talhão são comumente utilizadas no Brasil, o que podem levar a sub ou superfertilização, contribuindo para a baixa eficiência da fertilização (BREDEMEIER & SCHMIDHALTER, 2005; RAUN et al., 2011) e resultando em variações no rendimento ao longo do talhão de até 50% (KITCHEN et al., 1995).

Portanto como no Brasil existe um predomínio muito grande de semeadoras mecânicas com dosadores em disco, sendo o uso de semeadoras pneumáticas ainda incipientes, associado ao fato da baixa utilização de dose variável de nitrogênio (DVN), o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da qualidade de semeadura influenciada pelo tipo de dosador de semente e a utilização de piloto automático e sinal de qualidade no arranjo espacial de plantas e ainda avaliar o efeito da DVN e da dose fixa de N.

## **1.1 Hipóteses**

A semeadora pneumática apresenta uma qualidade de semeadura superior a mecânica atingindo um arranjo espacial de plantas próximo da equidistância entre as plantas na fileira.

A desuniformidade na distribuição de plantas na fileira aumenta a competição intraespecífica, aumentando a variabilidade no desenvolvimento das plantas o que limitará o teto produtivo da cultura.

O efeito da dose variável de nitrogênio na produtividade da cultura será afetado pelo arranjo de plantas na lavoura.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos gerais**

Avaliar o efeito da variabilidade no espaçamento entre plantas na fileira na produtividade da cultura do milho.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Avaliar a qualidade da semeadura comparando uma semeadora mecânica com dosador em discos e uma semeadora pneumática com organizador de sementes.

Avaliar o efeito da variabilidade na distribuição de plantas através de parâmetros como o Coeficiente de Variação e o Desvio Padrão da distribuição das plantas na fileira no desenvolvimento e produtividade da cultura do milho em um macro ambiente.

Quantificar o efeito da variabilidade na distribuição de plantas na fileira, através de um estudo de caso, monitorando-se planta a planta o desenvolvimento e a produtividade da cultura em um micro ambiente.

Avaliar o efeito do arranjo de plantas e da dose variável de nitrogênio utilizando sensor óptico na produtividade da cultura em duas zonas com distinção na condutividade elétrica.

## 2. Capítulo 1

### Precisão na distribuição espacial de plantas e sua relação com o vigor e a produtividade de milho no Sul do Brasil

**\*Artigo formatado de acordo com normas da Revista Precision Agriculture**

**2.1 Resumo** A otimização do arranjo espacial de plantas na lavoura, com plantas distanciadas equidistantemente na fileira é relevante para otimizar a produtividade do milho. Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade de semeadura proporcionada por dois sistemas de semeadora no arranjo espacial de plantas e quantificar o efeito do erro de espaçamento entre plantas na fileira no vigor de planta e na produtividade do milho. O estudo foi desenvolvido em Carazinho-RS nos anos agrícolas 2012/13 (Experimento I) e 2013/14 (Experimento II) sendo os tratamentos: a) semeadora com sistema mecânico e dosador em discos horizontais (SM); b) semeadora com sistema pneumático e organizador de sementes (SP); c) semeadora com sistema pneumático e organizador de sementes acoplado a trator com piloto automático e sinal RTK (SPP). O delineamento experimental foi com um fator com três repetições no esquema de blocos ao acaso, sendo o estudo conduzido em parcelas principais de 6.600 e 990m<sup>2</sup> para os experimentos I e II, respectivamente e em subparcelas visando o estudo planta a planta de 4,05 m<sup>2</sup>. Ainda, um estudo de caso foi direcionado na forma de transectos de 5 plantas onde investigou-se o efeito do erro de espaçamento entre plantas na fileira no vigor e na produtividade da cultura. A qualidade de semeadura foi afetada pelo sistema da semeadora não tendo sido observado efeito da utilização do piloto automático, sendo a melhor distribuição obtida no tratamento SP, com um CV de 25,4 e 19,7 % para os experimentos I e II, respectivamente. O melhor arranjo espacial de plantas no SP em relação ao SM, com uma redução de aproximadamente 16 pontos percentuais no CV do espaçamento entre as plantas para os dois experimentos na parcela principal, resultou em incremento de 12,5 e 6,8% na produtividade, respectivamente. Além disso, o uso de piloto automático e sinal RTK (SPP) incrementou em 7 % a produtividade em relação ao SP no primeiro experimento. No estudo das subparcelas, no qual foi avaliando a produtividade individual de plantas ao longo da fileira de semeadura, no SP observou-se apenas 2% das plantas com produtividade inferior a 8.500 kg ha<sup>-1</sup> para o experimento I e 10% abaixo de 6.500 kg ha<sup>-1</sup> para o II. Já, no SM a frequência das plantas abaixo destas produtividades foi de aproximadamente 18% para os dois experimentos, sendo estes resultados atribuídos a maior ocorrência de plantas dominadas, o que se justificou nas avaliações de vigor de planta pelo índice de vegetação por diferença normalizado (NDVI), através da uniformidade das avaliações e dos maiores índices no SP em relação ao SM. Na investigação do erro na distribuição de plantas através do estudo de caso, constatou-se que os índices de NDVI e a produtividade do milho são afetados negativamente para cada 10% de aumento no CV, sendo o decréscimo na produtividade de 1.356 e 815 kg ha<sup>-1</sup> para o experimento I e II, respectivamente.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Arranjo de plantas. *Zea mays*. Competição intra-específica.

## 2.2 Introdução

O arranjo de plantas é uma das práticas culturais que frequentemente tem afetado a produtividade de milho em áreas conduzidas visando à obtenção de elevadas produtividades (Argenta et al. 2001; Sangoi et al. 2010). Este fato deve-se a limitada capacidade da cultura em produzir afilhos férteis, geralmente produzindo uma espiga por planta e ainda a sua elevada sensibilidade a competição intraespecífica (Andrade e Sadras 2003; Vieira Junior et al. 2006; Sangoi et al. 2011). Incrementos na produtividade de milho têm sido obtidos com o ajuste fino da população de plantas de acordo com o material genético e com as condições de cada ambiente ou zona de manejo (Bragachini et al. 2010; Butzen e Gunzenhauser 2010; Hörbe et al. 2013). No entanto, tão importante quanto o ajuste da população de plantas aos diferentes ambientes que existam na área comercial, a distribuição precisa das sementes de modo a proporcionar equidistância das plantas na fileira, irá afetar a produtividade (Andrade e Abbate, 2005; Boomsma e Vyn, 2010).

Vieira Junior et al (2006) observaram que a produtividade de milho foi afetada negativamente pelo erro na distribuição de plantas, que causou uma variação da população de plantas de 58.000 a 76.000 plantas  $ha^{-1}$ , resultando em uma maior frequência de plantas dominadas que não produziram espigas ou produziram espigas com tamanho reduzido. Estes autores verificaram que a produtividade de milho reduzia em maior intensidade quando o coeficiente de variação (CV) entre plantas foi maior que 20%. Relações entre o erro na distribuição de plantas e a produtividade de milho reportaram que para cada 10% no aumento no índice do CV da distribuição das plantas ocorreu uma redução na produtividade de 64 a 128  $kg ha^{-1}$  (Horn 2010; Sangoi et al. 2012).

Em uma avaliação de 48 lavouras comerciais no Sul do Brasil, na região de Campos Gerais, Paraná, foi encontrada uma grande variabilidade na distribuição de plantas na fileira de semeadura, apesar de na maioria das áreas a população alvo ter sido alcançada. Assim, em apenas 27% dos campos investigados o CV da distância entre as plantas ficou, abaixo do valor de 25% (Schimandei et al. 2006). Deve-se destacar que na região investigada predominam semeadoras com sistema mecânico com discos horizontais, sendo o uso de semeadoras com sistema pneumático ainda incipiente. A baixa qualidade na distribuição de plantas na fileira de semeadura também foi reportada em um estudo em 350 campos comerciais no cinturão do milho, nos estados de Indiana e Ohio (EUA), onde em apenas 16% destes foi observada uma distribuição satisfatória com desvio padrão (DP) menor que 0,07 m. Já 60% dos campos investigados apresentavam DP entre 0,10 a 0,12 m e os outros 24 % encontravam-se com 0,15 m ou mais, sendo o decréscimo na produtividade para cada 0,05 m no DP estimado em 312  $kg ha^{-1}$  (Nielsen, 2001).

Em avaliações de 46 transectos investigados na Argentina, México e EUA foi evidenciado a ocorrência de variabilidade na distribuição de plantas entre fileiras de semeadura, resultando em grande variabilidade de produtividade. A média de variação de produtividade entre as plantas para todas as localidades foi de 2.765  $kg ha^{-1}$  e à medida que aumentava o CV da produtividade, a produtividade média diminuía (Martin et al. 2005). A variabilidade na produtividade foi atribuída a problemas na semeadura, tais como: irregularidade na profundidade de deposição do fertilizante e da semente, variabilidade na umidade e na resistência do solo, além do erro na distribuição das sementes ao longo da fileira. Ainda são escassos os trabalhos que avaliam as modernas ferramentas da AP no aprimoramento do arranjo espacial de plantas

na lavoura e sua consequência na produtividade. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade de semeadura influenciada pelo sistema de semeadora utilizado e a utilização de piloto automático e sinal de elevada precisão no arranjo espacial de plantas, e o efeito do erro de espaçamento entre plantas na fileira no vigor e produtividade da cultura do milho, no Sul do Brasil.

### 2.3 Material e métodos

Este estudo foi desenvolvido no município de Carazinho, RS durante os anos agrícolas de 2012/13 (experimento I) e 2013/14 (experimento II). As coordenadas geográficas dos locais são 28.32' de latitude Sul e 52.47' de longitude Oeste (no experimento I) e 28.32' de latitude Sul e 52.72' de longitude Oeste em (no experimento II) com altitude média de 570 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical (Nimer, 1989). As condições climáticas durante a condução dos experimentos apresentaram algumas particularidades quanto a distribuição das precipitações que influenciaram o desenvolvimento vegetal, apesar da precipitação acumulada para os dois experimentos terem sido semelhante (Figura 1). No primeiro experimento ocorreu uma melhor distribuição da precipitação durante todo o ciclo da cultura, sendo que no segundo foi observado um período de déficit hídrico no período de florescimento do milho. Neste caso, entre a semana que antecede e nas duas subsequentes ao florescimento, momento no qual ocorre a polinização da cultura, a precipitação acumulada foi de 15 mm, sendo a necessidade da cultura para este período estimada em 150 mm (Durães et al., 2002).

O solo de ambos experimentos é classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa 2006) com relevo suavemente ondulado e textura argilosa. As áreas de estudo vêm sendo conduzida com sistema plantio direto de longa duração, tendo como principais culturas comerciais, durante a safra de verão, a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), com maior frequência, e o milho (*Zea mays* L.). Nos cultivos de inverno, o trigo (*Triticum aestivum* L.) é a principal cultura comercial, sendo rotacionado com a aveia preta (*Avena strigosa* L.) que é a utilizada como cultura de cobertura de forma isolada ou consorciada com nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.).

O estudo foi conduzido em delineamento experimental com um fator e três repetições no esquema de blocos ao acaso, sendo os tratamentos representados por três métodos de semeadura da cultura do milho sendo eles: a) semeadora com sistema mecânico e dosador em discos horizontais – Victoria® (SM); b) semeadora com sistema pneumático e organizador de sementes (vSet-precion planting®) – Victoria DPS® (SP); c) semeadora com sistema pneumático e organizador de sementes – Victoria DPS® acoplado a trator equipado com piloto automático e com sinal de correção RTK (SPP). O experimento foi conduzido em parcelas principais com largura útil de 11 m. Para tanto as semeadoras utilizadas possuíam dez linhas com espaçamento entre linhas de 0,50 m, e o comprimento total foi de 600 m para o experimento I e 90 m para o II, correspondendo a uma área de 6.600 e 990 m<sup>2</sup>, respectivamente. As subparcelas visando o estudo planta a planta, situavam-se dentro da parcela principal possuindo dimensões de 1,5 (três fileiras) por 2,7 m de comprimento, correspondendo a uma área de 4,05 m<sup>2</sup>. Nas subparcelas as plantas foram identificadas e numeradas para acompanhamento durante todo o ciclo da cultura.

Na tabela 1 é apresentada a análise química das áreas experimentais, quando da implantação dos experimentos e a média das avaliações da condutividade elétrica aparente (Cea), determinada pelo equipamento Veris 3100 (Veris Technologies®) na profundidade de 0-0,30 m. A adubação do experimento foi ajustada para uma produtividade alvo de 10.000 kg ha<sup>-1</sup> (COMISSÃO...2004). As quantidades de fertilizantes utilizadas foram 72 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 27 kg ha<sup>-1</sup> de N na base de semeadura; 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em cobertura. Nos estádio de V4 e V8 foi feito a aplicação em cobertura de 160 kg de N parcelado em duas aplicações de igual quantidade. As fontes destes nutrientes foram ureia (44%N), difosfato de amônio-DAP (18 % N e 48 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (58 % K<sub>2</sub>O).

O material genético utilizado em ambos os experimentos foi o híbrido simples, Pioneer 30F53YH, que possui extensa área semeada no estado do Rio Grande do Sul. Os experimentos foram implantados no dia 15 de outubro de 2013 e no dia 11 de setembro de 2014 para o experimento I e II, respectivamente, sendo a população alvo de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As condições de umidade e temperatura no momento da semeadura foram adequadas para ambos os experimentos, com uma profundidade da semente no sulco de 0,03m, respeitando-se uma velocidade de 5 km h<sup>-1</sup> durante a operação. O vigor e a germinação das sementes para os dois experimentos foi de 91 e 95 %, respectivamente.

Para as avaliações da qualidade de semeadura foram utilizado os índices de coeficiente de variação (CV) e o desvio padrão (DP) da distribuição de plantas na fileira de semeadura para a parcela principal e subparcela. O levantamento destes dados procedeu-se no estádio de V4 da cultura, com a mensuração do espaçamento entre cada planta. Na parcela principal foram utilizados 5 m lineares em dez fileiras de semeadura para cada tratamento nos blocos avaliados. O mesmo procedimento foi realizado para a subparcela, porém com as avaliações realizadas em 2,7 m lineares nas três fileiras de cada tratamento. Após as avaliações do CV e DP na parcela principal, foi identificado as fileiras que apresentavam diferentes CV e DP nos blocos avaliados e um estudo de caso foi realizado na forma de transectos de 5 plantas em que se buscou investigar o efeito do erro de espaçamento entre plantas na fileira no vigor de planta e na produtividade da cultura (Figura 2).

No estádio V8 da cultura nos dois experimentos para a parcela principal foi feito a leitura do índice de vegetação (IV) com a utilização do sensor óptico, N-sensor ALS® (YARA). Este sensor óptico realiza a determinação do IV baseado na reflectância de ondas espectrais nos comprimentos de 730 e 760 nm, que é correlacionado com a quantidade de N absorvido pelas plantas (Jasper et al., 2009; Portz et al., 2011; Bragagnolo et al., 2014).

A produtividade de grãos foi avaliada com uma colhedora TC5090®, New Holland equipada com sensor de colheita de fluxo de massa acoplado ao elevador de grãos TOPPER 4500® (STARA), sendo a largura da plataforma coincidente com a das semeadoras utilizadas. Após a colheita, os dados foram tabulados, utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2007® e o CR - Campeiro 7 eliminando através de filtragens, as principais fontes de erros tais como: erros de posicionamento (coordenadas repetidas) e valores de produtividade improvável, seguindo o proposto por Menegati & Molin (2004) e Blackmore et al. (2003).

Na subparcela, para os dois experimentos, realizou-se no estádio V8 a leitura do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com o equipamento portátil GreenSeeker ® a uma altura de 0,5m de cada planta identificada. A avaliação de produtividade foi feita através da coleta de espigas de cada planta

monitorada, estimando-se a sua produtividade considerando uma população de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No estudo de caso, procederam-se as mesmas avaliações da subparcela, porém considerando-se o NDVI e a produtividade média das 5 plantas nos transectos avaliados.

Os dados para cada variável dependente foram analisados através da Análise de Variância (ANOVA) usando o procedimento PROC GLM no SAS v9.1 (SAS Institute Inc., USA). Quando o efeito dos tratamentos foi significativo ( $P \leq 0,05$ ), a significância da diferença entre as médias dos tratamentos foi determinada usando o método de comparação múltipla de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Equações de regressão linear foram utilizadas para avaliar a relação entre a qualidade de semeadura proporcionada pelos distintos dosadores de semente e atributos de planta e produtividade do milho nos ambientes avaliados. As análises de regressão e os gráficos foram feitas pelo programa Sigma Plot for Windows (Systat Inc. Chicago, IL, EUA) versão 12.0, utilizando-se o teste F ( $p < 0,05$ ). A normalidade dos dados foi testada usando o procedimento PROC UNIVARIATE. Parâmetros que não estavam distribuídos normalmente foram sujeitos a transformações pelo método de Box-Cox (Box e Cox, 1964).

## 2.4 Resultados e discussões

### 2.4.1 Variabilidade no espaçamento entre plantas influenciada pelo sistema da semeadora

As semeadoras investigadas (SM e SP) proporcionaram qualidade de semeadura distinta avaliado pelo CV na parcela principal, em ambos os experimentos. A utilização do piloto automático com sinal de alta qualidade (SPP), não modificou a qualidade de semeadura avaliada pelo CV e DP, sendo o comportamento semelhante a SP, desta forma, não apresentado na discussão dos resultados de qualidade de semeadura. A população final de plantas nos tratamentos SM e SP foi semelhante, sendo 72.660 ( $\pm 4.789$ ) e 76.630 ( $\pm 3.109$ ) plantas ha<sup>-1</sup> para o experimento I e 78.228 ( $\pm 4.044$ ) e 78.390 ( $\pm 2.749$ ) para o experimento II, respectivamente (Tabela 2). Com base na população de plantas alvo, o erro médio de população foi -3,1 e +2,2 % para o primeiro experimento e de +4,3 e +4,5 % para SM e SP para o segundo.

Assim, as semeadoras foram eficientes em estabelecer a população de plantas alvo. Já na avaliação de distribuição de plantas ao longo da fileira o CV médio das fileiras investigadas foi de 41,3 ( $\pm 13,8$ ) e 25,4% ( $\pm 8,6$ ) no experimento I e 36,1 ( $\pm 6,7$ ) e 19,7% ( $\pm 4,1$ ) no experimento II para o tratamento SM e SP, respectivamente. Portanto no tratamento (SM) em ambos os experimentos o CV do arranjo espacial das plantas foi elevado, indicando baixa precisão na semeadura. A precisão na semeadura no tratamento SP foi classificada precisa no segundo experimento e ligeiramente acima do limite no primeiro (CV > 20,0%) (Vieira Junior et al. 2006). Estes resultados corroboram com Schimandei et al.(2006) em avaliações de áreas comerciais, na região de Campos Gerais-Paraná, que reportaram que a população de plantas alvo estava sendo alcançada, no entanto existia uma grande variabilidade na distribuição das plantas na fileira de semeadura.

Na Tabela 2, no primeiro experimento observou-se que para o tratamento SM, além do elevado CV da distribuição de plantas, ainda ocorreu uma elevada variabilidade entre as fileiras avaliadas, sendo que as fileiras (3,6 e 8) os valores ficaram próximo ou acima de 50 %, valor este 2,5 vezes superior ao

considerado aceitável. Outro índice de avaliação da qualidade de semeadura mensurado no experimento foi o DP que também diferiu entre as semeadoras investigadas, sendo os valores de 0,12 e 0,07 m para o Experimento I e de 0,10 e 0,05 m para o Experimento II, para o SM e SP respectivamente. Assumindo, o DP = 0,05 m como sendo um arranjo espacial de elevada qualidade (Nielsen 2001), observou-se que o tratamento SM ficou acima deste referencial em ambos os experimentos, enquanto o SP ficou acima no primeiro experimento e alcançou a precisão para o segundo.

No tratamento SM as frequências de 13,5 e 20,1% das plantas no experimento I e II, respectivamente, apresentaram espaçamento entre plantas inferior a 0,19 m, sendo o espaçamento alvo entre as plantas para a parcela principal de 0,27 m (Figura 3). A ocorrência de plantas muito próxima uma das outras incrementa a competição por água, luz e nutrientes, sendo o milho uma cultura classificada como muito sensível a competição intraespecífica. Ainda pode-se observar que uma frequência de 14,3 e 6,8% das plantas para o Experimento I e II, respectivamente encontravam-se com espaçamento superior a 0,39 m. O menor DP para o tratamento SP em relação ao SM para os dois experimentos, representou uma redução na média dos dois experimentos de aproximadamente 3 vezes na frequência de plantas com espaçamento inferior dos 0,18 m e em aproximadamente 7 vezes nas plantas com espaçamento superior dos 0,39 m. Ou seja o tratamento SP foi eficiente em melhorar a distribuição entre as plantas na linha, aumentando a frequência de plantas próximas do espaçamento alvo.

#### *2.4.2 Relação da precisão no espaçamento entre plantas com o vigor e a produtividade do milho*

A qualidade de semeadura proporcionada pelo tipo de semeadora utilizado influenciou os índices de vegetação das plantas no primeiro experimento, não sendo observado efeito para o segundo experimento (Tabela 3). Por outro lado, foi observado efeito da qualidade de semeadura sobre a produtividade de grãos, em ambos os experimentos. A redução de aproximadamente 16 pontos percentuais no CV do espaçamento entre as plantas no tratamento SP para o experimento I e II ocasionou incrementos de 12,5 e 6,8 % na produtividade em relação ao tratamento SM. Ainda para o experimento I, sob condições de precipitação melhor distribuídas, em que os tetos produtivos foram acima dos 10.000 kg ha<sup>-1</sup>, a utilização do piloto automático e do sinal de correção RTK associado à semeadora com sistema pneumático (SPP) proporcionou incrementos de 5,0 e 13,5 % no IV e de 7,0 e 20,6% na produtividade de grãos em relação ao SP e ao SM, respectivamente. Portanto, houve uma associação entre melhor arranjo espacial de plantas, maior vigor de plantas e maior produtividade.

Resultados similares foram reportados anteriormente por Nivea (2012) quando foi investigado em diferentes ambientes em um talhão as fileiras com a melhor e a pior distribuição de plantas avaliada pelo CV, sendo a precisão na distribuição de plantas responsável por incrementos na produtividade que variaram de 6 a 76 % dependendo da amplitude do CV entre as fileiras. Os resultados de incremento na produtividade de milho com a diminuição do erro no espaçamento entre plantas foi também reportado por Nielsen (2004); Horn (2011); Sangoi et al. (2012). Com base na literatura, esperaria-se incremento na produtividade na ordem de 64 a 128 kg ha<sup>-1</sup> para cada 10% de decréscimo no valor do CV da distribuição de plantas. Neste sentido os resultados encontrados neste trabalho são contrastantes com os da literatura, pois para um incremento de 16 pontos percentuais no índice do CV no experimento as perdas de produtividade foram de 1.453 e 477 kg ha<sup>-1</sup> para o primeiro e segundo experimento, respectivamente.

Estes valores mais acentuados podem ser justificados em parte pela metodologia utilizada em cada trabalho para avaliar o efeito do arranjo espacial de plantas na produtividade. Geralmente, os trabalhos são realizados em pequenas parcelas, com semeadura manual e posterior desbaste nos estádios iniciais. Outro aspecto é que nestes trabalhos a variabilidade entre as plantas é planejada, sendo exatamente a mesma entre as fileiras que compõem a parcela, proporcionando um elevado grau de controle. Esta situação é diferente de uma variabilidade que acontece a campo num processo de semeadura que envolve fatores mecânicos da semeadora e fatores de solo, a dinâmica de revolvimento do sulco de semeadura, do corte da palha presente no plantio direto e ainda de profundidade de deposição das sementes. Ainda pode-se citar a variabilidade de resposta a otimização do arranjo espacial entre os materiais genéticos dos híbridos disponíveis no mercado.

Nas avaliações de IV realizadas no estádio de 7-8 folhas, observou-se que somente o tratamento SM apresentou relação entre o IV e a produtividade de grãos (Figura 4), (Tabela 3). De um modo geral, observou-se no tratamento SM que aumentos do IV incrementaram a produtividade de grãos. Como neste tratamento havia a maior imprecisão no arranjo espacial de plantas verificou-se maior ocorrência de plantas dominadas fato que pode ter contribuído para a ocorrência de baixos valores de IV e de produtividade. Por outro lado, a melhor distribuição de plantas no SP e SPP se expressou com maiores índices de IV e de maior homogeneidade da produtividade.

O melhor arranjo espacial de plantas diminui a competição intra-específica e favorece uma melhor nutrição das plantas que é traduzida por maior valores de IV. Ainda, o CV da produtividade para os tratamentos SM, SP e SPP foi de 16, 6 e 4%, respectivamente. Anteriormente, Martin et al., (2005) reportaram que as maiores produtividades foram associadas a maior uniformidade de produtividade entre as plantas. No tratamento SM apenas 54% das plantas estavam com espaçamento entre plantas na faixa de 0,22-0,35 m (Fig. 3). Nos tratamentos SP e SPP estes valores foram de 74%. Esta imprecisão de semeadura se expressou no IV avaliado em V8 comprometendo a produtividade como reportado anteriormente por Maddoni & Otegui (2004).

#### *2.4.3 Variabilidade planta a planta do NDVI e da produtividade de milho induzida pelo sistema da semeadora*

Visando entender o efeito do arranjo espacial proporcionado por dois sistemas de semeadoras no NDVI de plantas e na produtividade foi conduzido um estudo planta a planta em subparcelas. As semeadoras (SM e SP) proporcionaram qualidade de semeadura distinta, diferindo-se nos dois experimentos (Tabela 4). O comportamento do arranjo espacial das plantas foi similar ao da parcela principal, sendo a população alvo alcançada para os dois anos experimentos, não diferindo entre os tratamentos e a variabilidade na distribuição de plantas na fileira avaliada pelo CV e DP mantida. De maneira geral, o estudo em subparcela foi concordante com o da parcela principal (Tabela 4) que apresentou uma diferença entre os dosadores de 16 pontos % no CV. Na figura 4, representa-se a frequência da distribuição do espaçamento entre plantas na subparcela, sendo o DP de 0,10 e 0,06 m no Experimento I e de 0,10 e 0,05 m no Experimento II, para o SM e SP, respectivamente.

O estudo de caso confirmou que a imprecisão no arranjo espacial de plantas, influenciou o desenvolvimento de plantas do milho avaliado através do NDVI (greenseeker) anteriormente reportado nas parcelas principais com o IV (N-Sensor) (Tabela 3). O estudo em subparcela apresentou a vantagem em relação a parcela principal, por estabelecer com maior acurácia a relação entre a qualidade de sementeira e sua relação com o desenvolvimento de plantas e a produtividade, fato não possível com a atual tecnologia de sensores acoplados as máquinas agrícolas. Os sensor de planta, utilizado na parcela principal por exemplo, faz uma média das plantas num raio de três metros (N-Sensor) e o sensor de colheita faz uma média de dez linhas em 8 metros lineares (40 m<sup>2</sup>). Assim, no caso das parcelas principais se tem uma média de desenvolvimento e de produtividade por uma determinada área, enquanto no estudo de caso se tem o comportamento individual de cada planta. Como o erro de sementeira é individual o estudo planta a planta é mais apropriado para captar situações como plantas dominadas e dominantes.

A relação entre o NDVI e a produtividade de grãos foi significativa para os sistemas de sementeira avaliados em ambos os experimentos. Nas avaliações de NDVI no estágio de 7-8 folhas da cultura, para os dois experimentos, no tratamento SP (Fig. b e d) as plantas desenvolveram-se de forma mais uniforme, devido a maior precisão no arranjo espacial de plantas em que 91% das plantas apresentavam-se com espaçamento entre 0,19-0,40 m (Fig. 6 a e b) ficando o valor de NDVI acima de 0,7 para 82 e 90 % das plantas no Experimento I e II, o qual correspondeu as maiores produtividades (Fig. 6). Por outro lado, nos dois experimentos o tratamento SM apresentou a maior variabilidade na distribuição das plantas, com a presença de 14,4 e 19,5 % das plantas com espaçamentos entre elas inferior a 0,19 m para o experimento I e II, valores estes 2,6 e 3,5 vezes superiores ao verificado no SP, que se expressaram em 16,3 e 7,8 % das plantas com valores de NDVI abaixo de 0,6. Estando este valor associado às plantas com menores produtividades nos dois experimentos, sugerindo que o efeito da competição entre plantas de milho associada a imprecisão no arranjo espacial, já se expressa desde os estádios iniciais entre V6 e V8 (Pagano & Maddonni, 2007).

O melhor arranjo espacial proporcionada pelo SP em relação a SM resultou em incremento da produtividade de 3.730 (36,4 %) e 1.190 (14,6 %) kg ha<sup>-1</sup>, para o primeiro e segundo experimento. Ainda, o maior NDVI nas plantas no SP se expressou em 89,0 % das plantas com produtividades acima de 10.000 kg ha<sup>-1</sup> no primeiro experimento e 73,3% acima de 8.000 kg ha<sup>-1</sup> no segundo. Já para o SM, estes valores foram de 65,4 e 60,2 %, respectivamente (Fig. 6). Fazendo-se um paralelo as avaliações de distribuição de plantas para SP no Experimento I e II, 85 e 71% das plantas apresentavam espaçamento entre 0,22-0,35m, próximo do espaçamento médio de 0,27 m (Fig. 5). Já para SM a frequência de plantas neste espaçamento foi de 51 e 55%, respectivamente. Ou seja, uma melhor qualidade na distribuição de plantas aumentou na média dos dois anos em 1,5 vezes o número de plantas com espaçamento próximo da média, sendo o incremento médio de produtividade para os dois anos de estudo em relação a SM de aproximadamente 1,25 vezes.

Com base nas relações entre o NDVI e produtividade de grãos, existe a possibilidade de incremento da eficiência na fertilização nitrogenada com sensores ópticos, quando se combina esta técnica com uma sementeira de elevada qualidade, que resulta em uma melhor distribuição de plantas na linha como no caso do SP. O decréscimo na variabilidade de vigor entre plantas faz com que a leitura da média represente melhor a média da população de plantas. Por outro lado, sob condições de irregular

espaçamento de plantas, a fertilização nitrogenada baseada em uma média de uma determinada área (N-Sensor e outros sensores) não irá ajustar a dose a ocorrência de plantas dominadas. Portanto, a otimização da distribuição de plantas pode ser uma importante estratégia para incrementar a produtividade do milho e de outras estratégias da agricultura de precisão, como a fertilização nitrogenada com base em sensores ópticos, sendo necessários novos estudos com enfoque no assunto. Ainda, tem relação direta com o ajuste da população de plantas a zonas de manejo (Hörbe et al., 2013), bem como de tecnologias que visam a diminuição da micro variabilidade do desenvolvimento vegetal e da produtividade.

#### *2.4.4 Arranjo espacial de plantas na fileira e sua relação com o NDVI e a produtividade de grãos de milho com base na avaliação planta a planta: Estudo de caso*

O estudo em macroparcelas quanto a avaliação de qualidade de semeadura demonstrou que a distribuição de plantas foi irregular na fileira e entre as fileiras conforme observado no primeiro experimento no tratamento SM (Tabela 2). Desta forma identificou-se as fileiras que apresentavam amplitude em seu CV, dispondo transectos de cinco plantas com CV e DP da distribuição de plantas na fileira de semeadura em um mesmo ambiente que variaram de 10 a 60,0% e de 0,02 a 0,20 m, respectivamente para os dois experimentos.

As avaliações de NDVI variaram de 0,61 a 0,77 para o primeiro experimento e de 0,65 a 0,80 para o segundo. Foi encontrado, em ambos os experimentos, relação linear negativa entre o CV e DP e o NDVI, indicando um decréscimo médio 0,02 no índice de NDVI para cada incremento de 10% no valor do CV da distribuição de plantas e de 0,03 para cada incremento de 0,05 m no DP (Figura 7). Assim, à medida que aumentou o erro da distribuição de plantas, o desenvolvimento vegetativo da cultura avaliado pelo NDVI foi prejudicado. Em relação à produtividade a amplitude foi de 8.928 a 15.730 kg ha<sup>-1</sup>, para o primeiro experimento e de 5.776 a 10.948 kg ha<sup>-1</sup> para o segundo. Desta forma o decréscimo na produtividade para cada 10% de incremento no valor do CV da distribuição de plantas foi de 1.356 e 815 kg ha<sup>-1</sup> para o primeiro e segundo experimento, respectivamente. Para cada 0,01m de aumento no DP estes valores foram de 363 e 251 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 8).

De um modo geral, o ajuste dos parâmetros de precisão no arranjo espacial foram mais elevados para a produtividade de grãos do que para o NDVI. Os valores encontrados no estudo de caso estão muito acima dos experimentos que avaliaram o efeito da distribuição de plantas na linha com a produtividade de grãos (Nielsen, 2001; Sangoi et al., 2013 e Gaviraghi et al., 2014). O estudo planta a planta se torna de grande valia pelo fato de estar analisando uma micro variabilidade, que acontece entre as fileiras de semeadura e na própria fileira (Martin et al., 2005). E ainda complementa uma necessidade afirmada por Martin et al. (2012) que uma estimativa através da sequência de cinco plantas seria necessária para estimar o efeito da competição entre plantas na predição realizada por sensores ópticos e na produtividade.

Em trabalho semelhante ao realizado neste estudo, Nivea (2012) avaliando fileiras com a melhor e pior qualidade de semeadura em um mesmo sítio específico, reportou uma diferença de 1.300 kg ha<sup>-1</sup> comparando-se uma fileira com 26,4 e 44,9% no CV da distribuição de plantas e de 2.200 kg ha<sup>-1</sup> quando comparado uma fileira com 24,7 e 55,7%, sendo a produtividade das melhores fileiras de 10.000 e 6.900

kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Nota-se que a diferença do CV reportada foi de 19 e 31%, de modo que se for utilizada a equação gerada no segundo experimento deste estudo, no qual o teto produtivo foi similar ao do estudo realizado no município de Pompéia-SP, obteve-se uma diferença de 1.507 e 2.523 kg ha<sup>-1</sup>. Estes valores são próximos aos reportados por Nivea (2012) sugerindo uma concordância entre os dois estudos.

O estudo de caso ressaltou que na agricultura de precisão atenção especial deve ser dada a qualidade na operação de semeadura, visando diminuir ao máximo o erro na distribuição das plantas, pois este erro resulta em uma redução linear na produtividade por menor que ele seja. Desta forma a utilização de tecnologias que permitam uma distribuição de plantas próximo da equidistância é de extrema importância para reduzir a variabilidade de produção entre as plantas e potencializar o teto produtivo da cultura do milho.

## 2.5 Conclusões

A utilização de semeadora pneumática e organizador de sementes melhorou a distribuição espacial das plantas de milho em relação a semeadora mecânica, que é o tradicionalmente utilizado no Brasil. A otimização da distribuição de plantas proporcionou um desenvolvimento mais uniforme das plantas traduzido pela maior frequência de plantas com maiores valores de IV e NDVI e da produtividade. O estudo de caso demonstrou que a medida que aumenta a variabilidade na distribuição de plantas o NDVI médio das plantas diminuiu e que uma distribuição de plantas próxima da equidistância é necessária para potencializar a produtividade da cultura.

**2.6 Agradecimentos** Ao produtor rural, Sr. Rogério Pacheco, que cedeu um talhão de sua propriedade para este estudo. A STARA, COTRIJAL e YARA fertilizantes pelo suporte técnico e financeiro. A Capes e CNPQ pelo suporte financeiro para estas pesquisas.

## 2.7 Referências

- Andrade, F. H. & Sadras, V. O. (2003). Bases para el manejo del maiz, el girassol e la soja. Buenos Aires: Médica Panamericana, 443 p.
- Argenta, G.; Silva, P. R. F.; Sangoi, L. (2001) Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. *Rev. Ciência Rural*, v.31, p.1075-1084.
- Blackmore, S.; Godwin, R. J.; Fountas, S. (2003) The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Bios. Eng.*, 84:455–466.
- Bragachini, M.; Mendez, A.; Scaramuzza, F.; Velez, J. P.; & Vilarroel, D. (2010). Dosificación variable de insumos. In: *9<sup>no</sup> Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 4<sup>ta</sup> Expo de Máquinas Precisas*, Córdoba-Argentina.
- Bragagnolo, J.; Amado, T. J. C.; Nicolosso, R. S.; Jasper, J.; Kunz, J.; Teixeira, T. G. (2013) Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: i- plant nutrition and dry matter production. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, pp 1288-1298.
- Butzen, S. & Gunzenhauser, B. (2010) Putting variable-rate seeding to work on your farm. *Crop Insights*, 19, No 15. Pioneer Hi-Bred, Johnston, IA.

- Comissão de química e fertilidade do solo - CQFSRS/SC. (2004). Fertilizer and lime recommendation in Rio Grande do Sul and Santa Catarina State (Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul.
- Corwin, D. L. & Lesch, S. M. (2003) Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. *Agronomy Journal*. v. 95, pp. 471-471.
- Dourado Neto, D.; Fancelli, A. L. & Lopes, P. P. (2001). Corn: plant population and plant arrangement (Milho: população e distribuição de plantas). In: Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D. (Ed.) *Corn: technology to high productivity (Milho: tecnologia da produtividade)*. Piracicaba: Esalq, pp. 120-5.
- Durães, F. O. M.; Santos, M. X.; Gama, E. G.; Magalhães, P. C.; Albuquerque, P. E. P.; Guimarães, C. T. (2004) Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores. In: *Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica*, 35, 20pp.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. (2006). Brazilian soil classification system (Sistema brasileiro de classificação de solos). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro.
- Gaviraghi, R.; Santi, A. L.; Corassa, G. M.; Castro, D. M.; Araldi, W. (2014) Produtividade de milho em função da qualidade de distribuição longitudinal de plantas. In: *Congresso Brasileiro de Agricultura de precisão Conbap, 2014*.
- Glat, D. A dimensão do milho no mundo.2010 Disponível em: <<http://www.agranja.com/index/revistas/agranja/edicao/738/materia/2842>>.
- Hörbe, T. A. N.; Amado, T. J. C.; Ferreira, A. O.; Alba, P. J. (2013). Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. *Precision Agriculture*, 14, doi: 10.1007/s11119-013-9308-7.
- Horn, D. (2011). Qualidade de plantio: uma nova abordagem. *Boletim Informativo Pioneer*, v. 3, p. 17-19.
- Jasper, J.; Reusch, S.; Link, A. (2009) Active sensing of the N status of wheat using optimized wavelength combination—impact of seed rate, variety and growth stage. In E. J. Van Henten, D. Goense, & C. Lokhorst (Eds.), *Proceedings of the 7th European conference on precision agriculture* (pp.23–30). Wageningen, The Netherlands: Academic Publishers.
- Maddonni, G. A & Otegui, M. E. (2004) Intra-specific competition in maize: Early establishment of hierarchies among plants affects final kernels set. *Field Crops Res.* 85:1-13. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00104-7
- Martin, K. L.; Hodgen, P. J.; Freeman, K. W.; Melchiori, R.; Arnall, D. B.; Teal, R. K.; Mullen, R. W.; Desrta, K.; Phillips, S. B.; Solie, J. B.; Stone, M. L.; Caviglia, O.; Solari, F.; Bianchini, A.; Francis, D. D.; Shepers, J. S.; Ratfield, J. L.; Raun, W. R. (2005). Plant to Plant variability in corn production. *Agronomy Journal*, 97, 1603-1611. doi: 10.2134/agronj2005.0129.
- Martin, K.; Raun, W. & Solie, J. (2012) By-plant prediction of corn grain yield using optical sensor readings and measured plant height. *Journal of plant Nutrition*, 35:9, 1429-1439. doi: 10.1080/01904167.2012.684133
- Menegatti, L. A. A. & Molin, J. P. (2004). Errors elimination in crop yield map through raw data filter operation (Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos). *Revista*

- Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8, 126-134. doi: 10.1590/S1415-43662004000100019.
- Nielsen, B. (2001) Stand establishment variability in corn. Publ. *AGRY-91-01*. Purdue Univ., West Lafayette, IN.
- Nielsen, B. (2004) Effect of plant spacing variability on corn grain yield. Purdue Univ. Agronomy Dept. Disponível em: <http://www.kingcorn.org/research/psv/Update2004.html>.
- Nimer, E. (1989) *Climatologia do Brasil*. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 442 p.
- Nivea, R. M. A. P. (2012) Qualidade de distribuição longitudinal de plantas de milho e sua produtividade –um estudo de caso- Fatec Shunji Nishimura-Pompéia-SP, 35pp.
- Pagano, E. & Maddonni, G. A. (2007). Intra-specific competition in maize: Early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crops Research*, 101, 306-320. doi: 10.1016/j.fcr.2006.12.007
- Portz, G.; Molin, J. P.; Jasper, J. (2011) Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. *Precision Agriculture*.
- Sangoi, L.; Schimitt, A.; Vieira, J.; Picoli, G. J.; Souza, C. A.; Casa, R. T.; Schenatto, D. E.; Giordani, W.; Boniatti, C. M.; Machado, G. C.; Horn, D. (2012). Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11, 268-277.
- Sangoi, L.; Schweitzer, C.; Silva, P. R. F. (2010) Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos do milho. Lages: Graphel. 64p.
- Sangoi, L.; Schweitzer, C.; Silva, P. R. F.; Schimitt, A.; Vargas, V. P.; Casa, R. T.; Souza, C. A. (2011) Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, 46, 609-616.
- Schimandero, A.; Neto, P. H. W.; Gimenez, L. M.; Colet, M. J.; Garbuio, P. W. (2006). Distribuição longitudinal de plantas de milho (*Zea mays* L.) na região dos Campos Gerais, Paraná. *Revista Ciência Rural*, 36, 977-980.
- Vieira Junior, P. A.; Molin, J. P.; Dourado Neto, D.; Manfron, P. A.; Mascarin, L. S.; Faulin, G. D. C. & Detomini, E. R. (2006). Plant population and soil attributes that drives corn grain yield (População de plantas e alguns atributos do solo relacionados ao rendimento de grãos de milho). *Acta Scientiarum Agronomy*, 28, 483-492.

**Tabela 1** Características químicas do solo 0-0.15 m nos blocos avaliados

Exp.*	Cea	MOS %	P <sup>a</sup> mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>a</sup> mg dm <sup>-3</sup>	Al	Ca	Mg	CTC	pH	H <sub>2</sub> O 1:1	Argila g kg <sup>-1</sup>
I	9	3.5	18.2	0.52	0,0	5,1	3,6	13	5.7		580
II	9,8	3.3	20.4	0.64	0,0	4,2	2,8	12	5.5		650

<sup>a</sup> Fósforo e potássio extraídos com Melich<sup>-1</sup> \*Experimento

**Tabela 2.** População de plantas e coeficiente de variação das fileiras avaliadas para Semeadora mecânica(SM) e Semeadora Pneumática (SP) no Experimento I e II

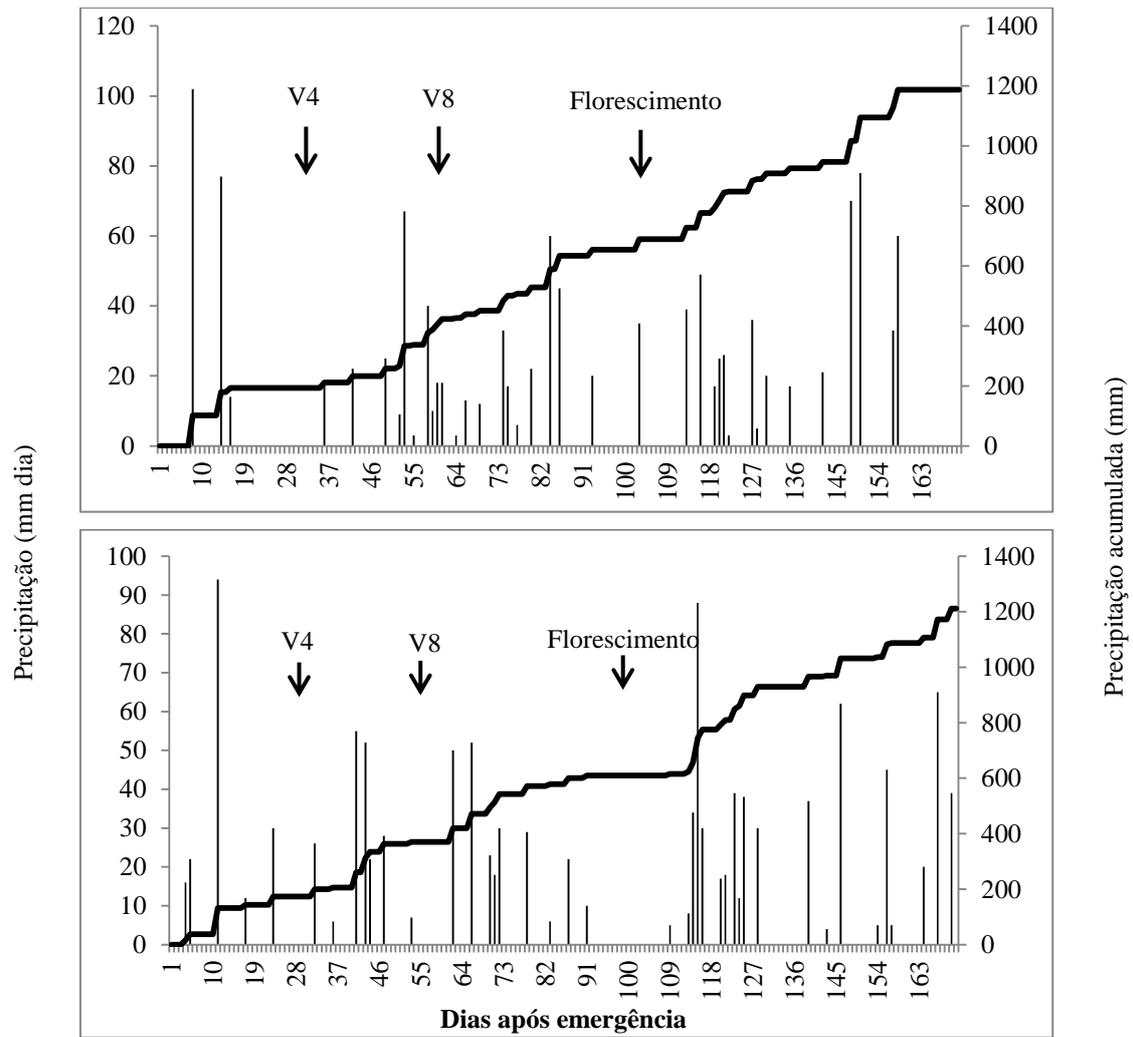
Fileira	Experimento I				Experimento II			
	População		CV%		População		CV%	
	(SM)	(SP)	(SM)	(SP)	(SM)	(SP)	(SM)	(SP)
1	76.196(±4.905)	74.896(±2.426)	36,7(±12,1)	31,0(±8,2)	76.322(±1.413)	80.174(±2.820)	35,6(±3,6)	22,1(±1,6)
2	76.552(±3.729)	75.093(±2.426)	30,7(±9,8)	30,4(±9,5)	81.150(±3.723)	79.292(±1.662)	35,4(±4,8)	21,2(±4,3)
3	68.953(±1.764)	76.671(±2.914)	52,8(±15,9)	21,2(±4,3)	79.874(±4.695)	76.879(±4.217)	40,3(±7,3)	22,6(±5,2)
4	75.054(±6.170)	74.335(±2.517)	32,8(±9,4)	34,1(±4,9)	76.976(±4.056)	77.724(±3.942)	35,8(±10,8)	21,2(±6,0)
5	69.835(±3.189)	76.937(±1.271)	46,6(±1,3)	25,1(±11,7)	76.965(±1.671)	79.483(±2.697)	37,9(±1,4)	17,0(±1,8)
6	70.224(±2.163)	75.943(±3.382)	50,3(±23,9)	25,5(±8,9)	77.380(±2.006)	78.180(±3.434)	35,8(±6,6)	18,2(±0,8)
7	75.684(±2.099)	74.816(±1.631)	32,1(±11,7)	30,5(±7,2)	81.176(±4.769)	77.525(±2.974)	31,3(±2,1)	14,8(±3,1)
8	73.638(±6.107)	78.299(±3.316)	50,7(±18,1)	15,7(±0,9)	77.248(±8.748)	78.193(±3.851)	39,4(±9,0)	18,2(±4,7)
9	73.463(±3.508)	78.275(±2.925)	35,8(±5,7)	21,3(±8,8)	78.017(±4.581)	77.993(±2.399)	37,7(±12,4)	23,1(±0,9)
10	66.999(±5.371)	78.032(±3.634)	44,49(±10,2)	19,53(±6,6)	76.472(±1.230)	78.452(±1.919)	31,94(±7,5)	18,35(±1,4)

**Tabela 3.** Qualidade de semeadura (CV%), índice de vegetação (IV) e produtividade de grãos de milho para o Experimento I e II na parcela principal

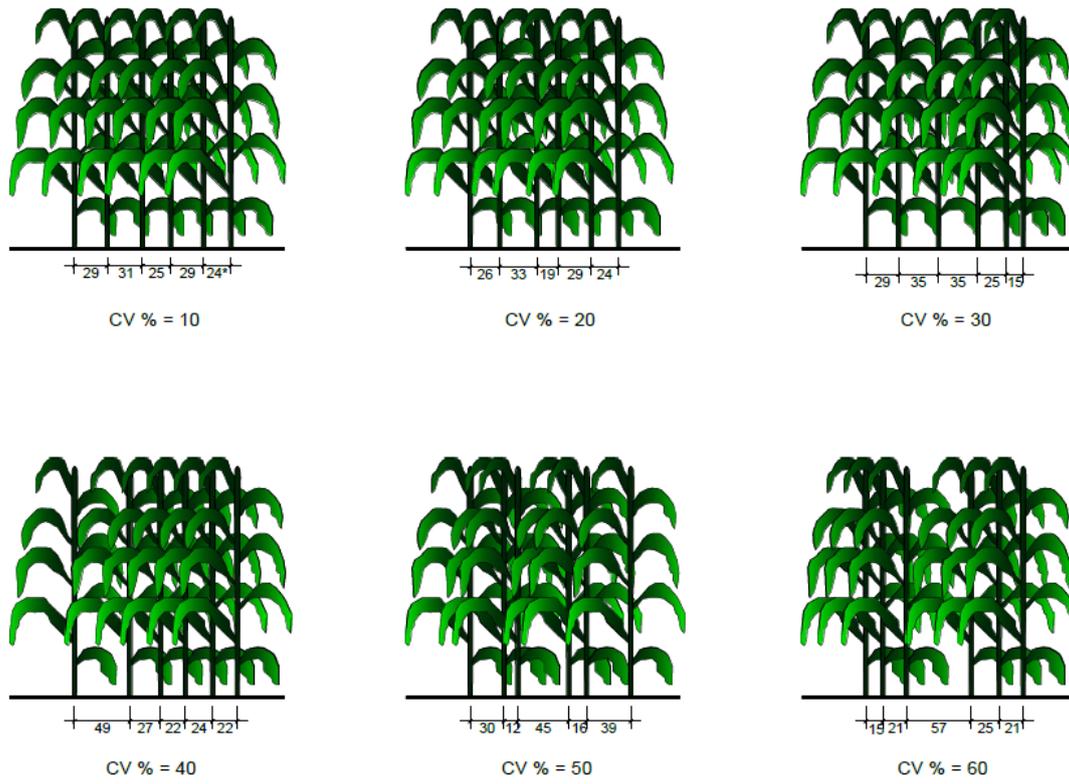
Tratamento	Experimento I			Experimento II		
	CV %	IV	Produtividade kg ha <sup>-1</sup>	CV%	IV	Produtividade kg ha <sup>-1</sup>
SM	41,3 a	6,07 a	9.954 a	36,1 a	8,33 a	6.987 a
SP	25,4 b	6,56 b	11.407 b	19,6 b	8,24 a	7.464 b
SPP	23,5 b	6,89 c	12.205 c	20,4 b	8,28 a	7.442 b

**Tabela 4.** Qualidade de semeadura (CV%), IV e produtividade de grãos de milho para o Experimento I e II na subparcela

Tratamento	Experimento I			Experimento II		
	CV %	NDVI	Produtividade kg ha <sup>-1</sup>	CV%	NDVI	Produtividade kg ha <sup>-1</sup>
SM	37,1 a	0,66 a	10.631 a	37,5 a	0,71 a	8.256 a
SP	20,1 b	0,73 b	13.304 b	17,6 b	0,76 b	9.291 b

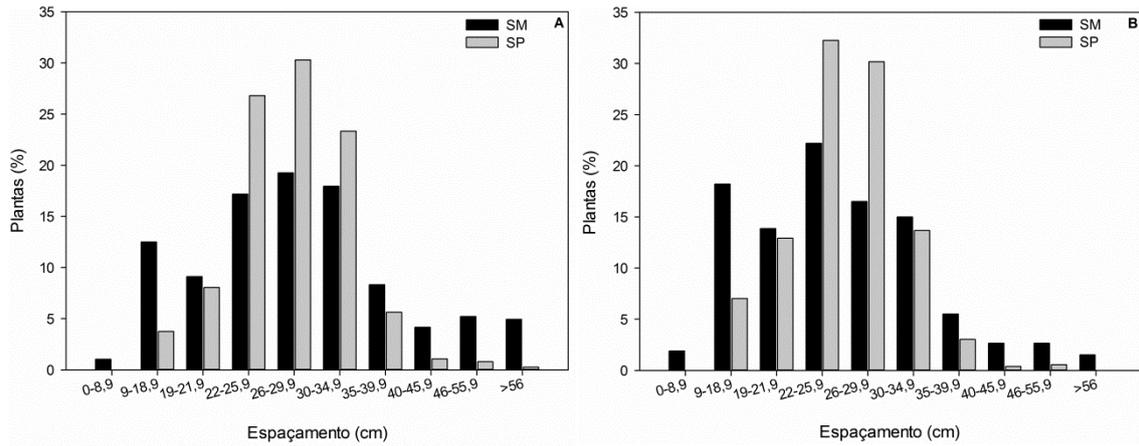


**Fig. 1** Distribuição das precipitações e precipitação acumulada ao longo do ciclo da cultura para o Experimento (I) e (II)

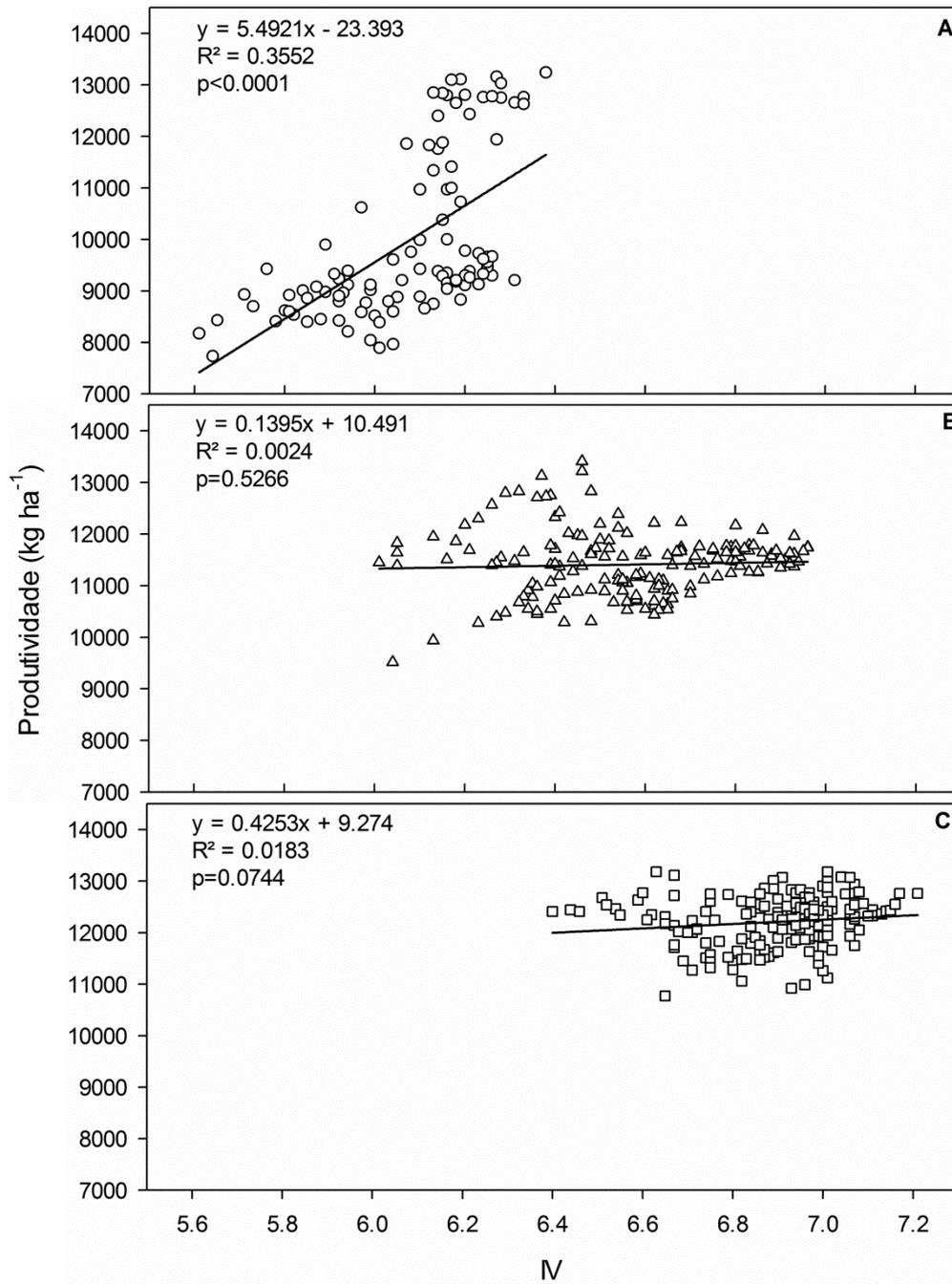


**Fig. 2** Variabilidade da distribuição entre plantas na fileira (um estudo de caso em transectos de 5 plantas)

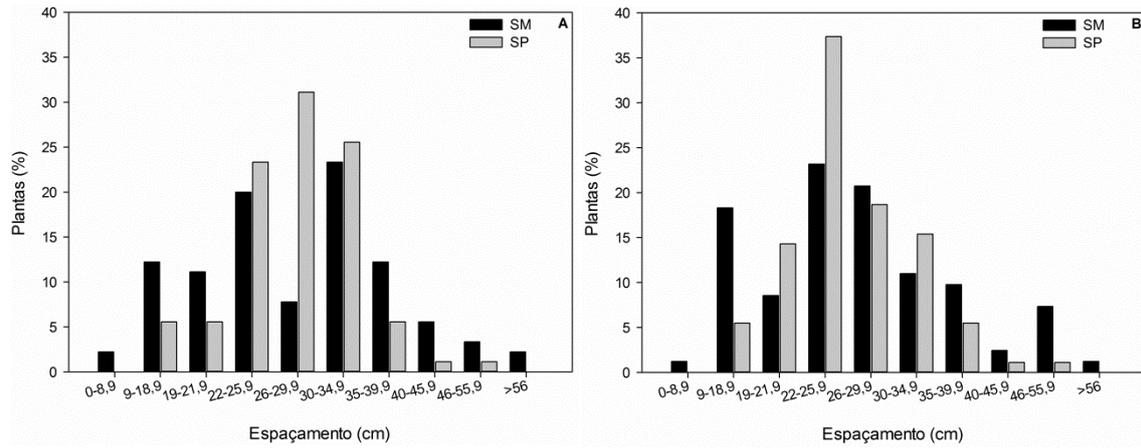
\*Espaçamento entre plantas:  $24 / 100 = 0,24\text{m}$



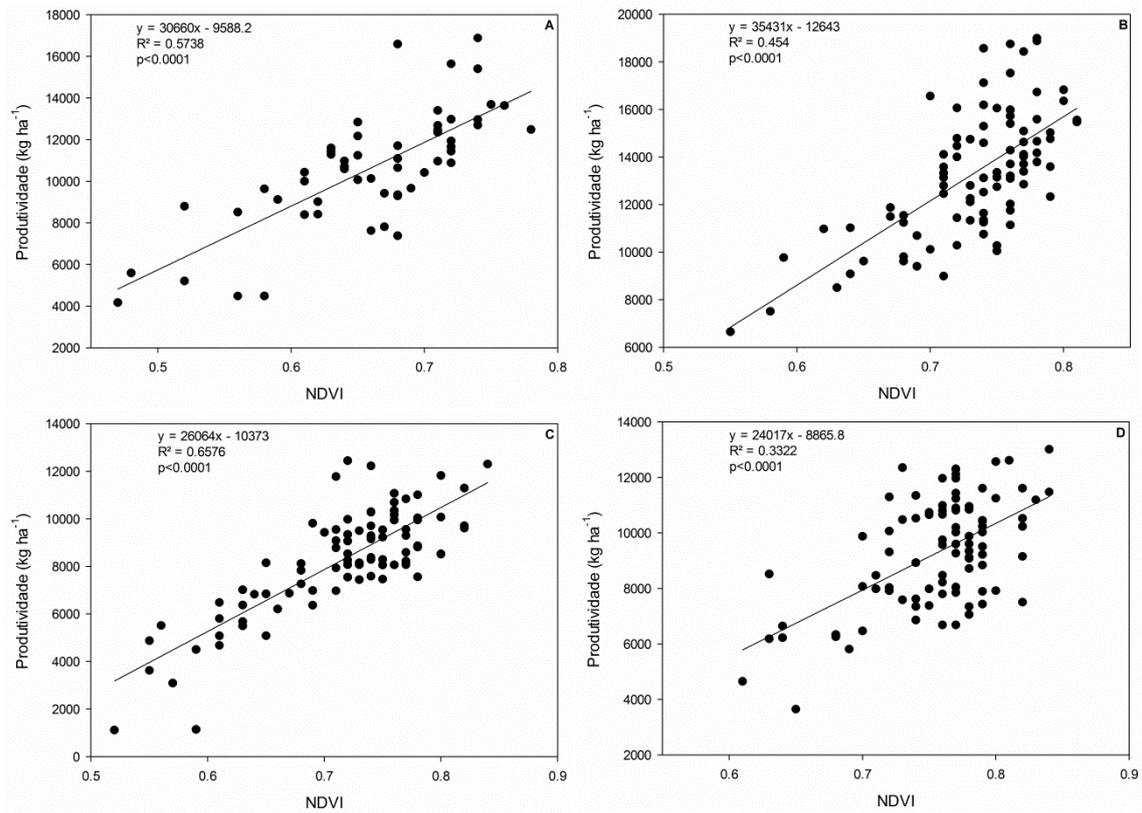
**Fig. 3** Distribuição do espaçamento entre plantas na parcela principal para a Semeadora mecânica e Semeadora pneumática no Experimento I(A) e no Experimento II (B)



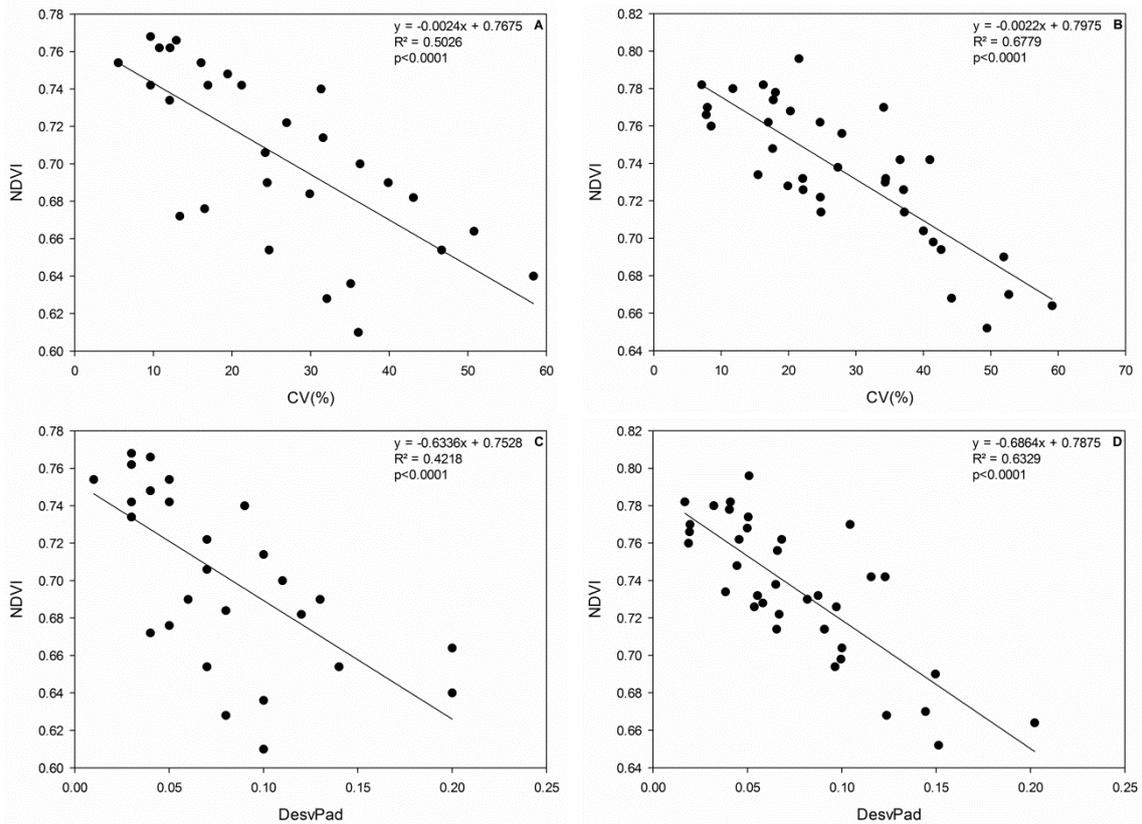
**Fig. 4** Relação do índice de vegetação (IV) e produtividade média de grãos para Semeadora mecânica (A), Semeadora pneumática (B) e Semeadora pneumática e piloto automático (C) para o Experimento I



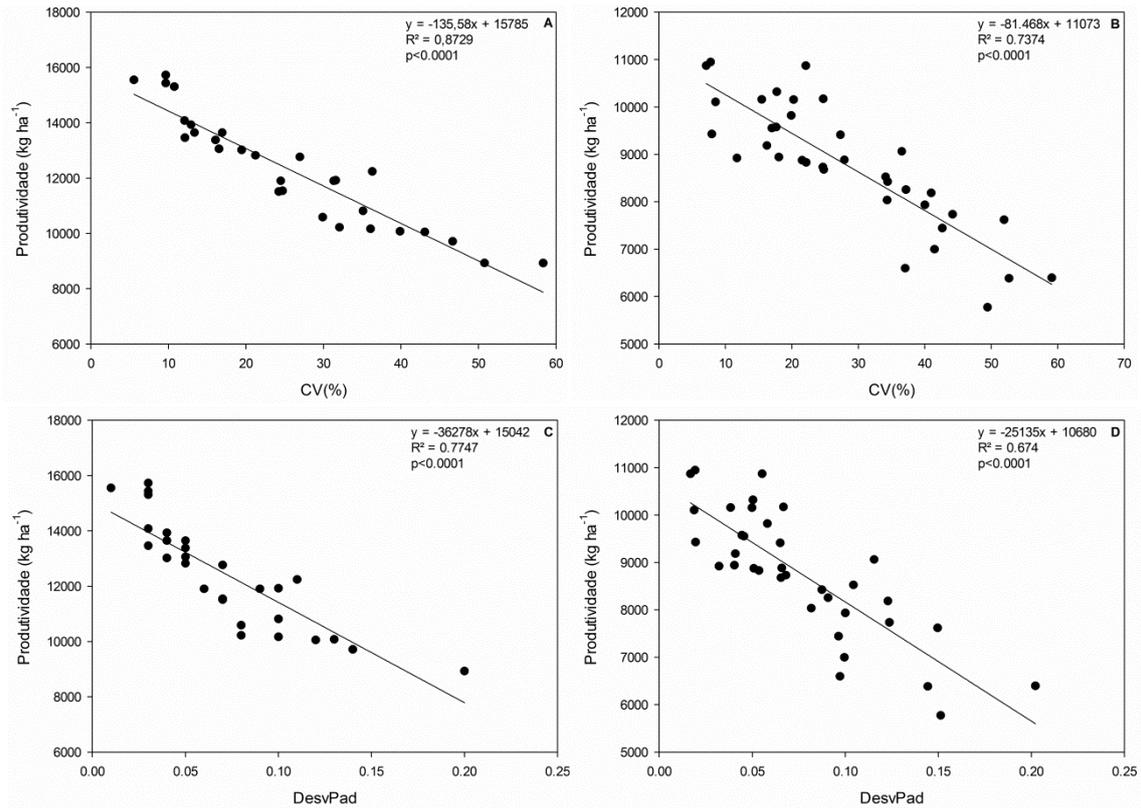
**Fig. 5** Distribuição do espaçamento entre plantas na subparcela para Semeadora mecânica e Semeadora pneumática no Experimento I (A) e no Experimento II (B)



**Fig. 6** Diferença normalizada do índice de vegetação (NDVI) e produtividade média de grãos planta a planta para Semeadora mecânica no Experimento I (A) e no Experimento II (C) e para Semeadora pneumática no Experimento I (B) e no Experimento II (D)



**Fig. 7** Variabilidade da distribuição de plantas na fileira avaliada pelo CV e a relação com NDVI da cultura para o Experimento I (A) e para o Experimento II (B) e a variabilidade da distribuição de plantas na fileira avaliada pelo DP e a relação com o NDVI da cultura para o Experimento I (C) e para o Experimento II (D)



**Fig. 8** Variabilidade da distribuição de plantas na fileira avaliada pelo CV e a relação com a produtividade da cultura para o Experimento I (A) e para o Experimento II (B) e a variabilidade da distribuição de plantas na fileira avaliada pelo DP e a relação com a produtividade da cultura para o Experimento I (C) e para o Experimento II (D)

### 3. Capítulo 2

#### **Influência da variabilidade na distribuição espacial de plantas de milho e da dose variável de nitrogênio na produtividade de grãos no sul do Brasil**

**\*Artigo formatado de acordo com normas da Revista Engenharia Agrícola**

**3.1 RESUMO:** A diminuição da variabilidade na distribuição de plantas na fileira e o aumento da eficiência da fertilização nitrogenada são importantes visando o manejo para altas produtividades na cultura do milho. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da qualidade de semeadura e da dose variável de nitrogênio (DVN) utilizando sensor óptico na produtividade do milho em duas zonas de manejo delimitadas pela condutividade elétrica aparente do solo (Cea). O delineamento experimental foi o de faixas subdivididas com três repetições em um esquema de blocos ao acaso. As faixas foram compostas pelos sistemas de semeadora (fileiras) e DVN e a dose fixa de nitrogênio (DFN) (colunas), sendo a subdivisão deste delineamento representada pela zona de baixa Cea (ZB) e para a zona de alta Cea (ZA). Para a ZB e ZA o maior incremento de produtividade foi obtido com a melhor distribuição de plantas, podendo ser potencializado pela utilização da DVN na ZA. No entanto a DVN foi uma alternativa eficiente em incrementar a produção quando não se obteve uma boa plantabilidade.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Arranjo de plantas. *Zea mays*. Competição intra-específica. Zonas de manejo

#### **3.2 INTRODUÇÃO**

A produtividade média brasileira na cultura do milho é aproximadamente 4.200 kg ha<sup>-1</sup>, ficando bem abaixo quando comparada com a dos EUA que varia entre 9.000 a 10.000 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto existem propriedades rurais no Brasil com um uso intensivo de tecnologias que obtém produtividades entre 10.000 a 15.000 kg ha<sup>-1</sup> em alguns agroecossistemas, igualando-se aos norte americanos (Glat, 2010). Um dos motivos para esta baixa produtividade pode estar associado à

utilização de baixas doses de nitrogênio (N), sendo a sua insuficiência um dos fatores mais limitantes a produtividade da cultura, associado ao fato da irregularidade na distribuição de plantas nas lavouras (SCHIMANDEIRO et al, 2006), sendo esta uma das práticas culturais associada a população de plantas que mais afeta a produtividade da cultura quando algum fator abiótico for limitante (Andrade e Sadras, 2003; Vieira Junior et al., 2006; Sangoi et al., 2011).

Neste sentido em uma avaliação de 48 campos comerciais no Brasil, na região de Campos Gerais, Paraná, foi encontrada uma grande variabilidade na distribuição de plantas na fileira, apesar da população alvo final ter sido alcançada, sendo que destes, apenas 27% dos campos apresentavam coeficientes de variação (CV) da distância entre as plantas, abaixo do valor de 25% (Schimandeirol et al., 2006). Segundo Vieira Junior et al. (2006) o CV das distâncias entre plantas deve ser mantido com valores próximos ou abaixo de 20%, no qual a variação na distância não influenciará a produtividade da cultura. Relações entre a variabilidade na distribuição de plantas e a produtividade em estudos no Brasil, demonstraram que para cada 10% no incremento do CV da distribuição das plantas ocorreram uma redução na produtividade de 64 a 128 kg ha<sup>-1</sup> (HORN, 2010 & SANGOI et al., 2012).

Em relação ao N destaca-se que atualmente tem-se uma baixa eficiência da fertilização nitrogenada mineral, variando de 18 a 78% para as regiões tropicais e subtropicais (Fontoura & Bayer, 2009; Rojas et al., 2012). Porém, destaca-se como um dos nutrientes com maior probabilidade de resposta ao manejo de dose variada de fertilizantes (Bongiovanni, 2002; Raun et al., 2011), podendo incrementar a eficiência da fertilização nitrogenada em relação a dose fixa de N (DFN) (Singh et al., 2006; Li et al., 2010).

Desta forma o uso de sensores de espectrometria óptica, capazes de estimar indiretamente o estado nutricional da cultura durante o seu ciclo de desenvolvimento representa um avanço tecnológico na adubação nitrogenada (Jorgensen & Jorgensen, 2007; Portz et al., 2011;

BRAGAGNOLO et al., 2013), pelo fato dos atributos de planta serem mais eficientes para prescrever a DVN do que os de solo (Povh et al., 2008). Outra consideração visando o aumento da eficiência da fertilização nitrogenada seria a consideração da elevada variabilidade espacial que a cultura do milho apresenta em sua produtividade de grãos (Amado et al., 2007), fato que permitiria o ajuste da dose de adubação respeitando a variabilidade espacial da área através da definição de zonas de manejo (Schawelbert et al., 2014) e proporcionaria incrementos ainda maiores na eficiência da adubação do N (Snyder et al., 1999; Ruffo, 2003; Bragachini et al, 2004; Melchiori et al, 2011).

Portanto como no Brasil existe um predomínio muito grande de semeadoras com sistema mecânico com dosadores em disco horizontal, sendo o uso de semeadoras com sistema pneumático ainda incipientes, associado ao fato da baixa utilização de dose variável de nitrogênio, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da qualidade de semeadura influenciada pelo tipo de dosador de semente e a utilização de piloto automático e sinal de qualidade no arranjo espacial de plantas e ainda avaliar o efeito da DVN e da DFN em dois ambientes de solo com distinção na Cea.

### **3.3 MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi desenvolvido no município de Carazinho, RS durante o ano agrícola 2013/14 sendo as coordenadas geográficas do local 28.32' de latitude Sul e 52.72' de longitude Oeste com altitude média de 570m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical (Nimer, 1989). As condições climáticas durante a condução do experimento apresentaram algumas particularidades que influenciaram o desenvolvimento vegetal, apesar da precipitação acumulada ter sido satisfatória (Figura 1). Um período de déficit hídrico ocorreu no florescimento da cultura entre a semana que antecedeu e nas duas subsequentes ao florescimento momento no qual ocorre a polinização do milho. A precipitação acumulada foi de 15mm, sendo a necessidade da cultura para este período de 150mm, período este mais crítico para produtividade de grãos (Durães et al., 2002).

O solo do local é classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006), com relevo suavemente ondulado e textura argilosa. A área de estudo vem sendo conduzida com sistema plantio direto de longa duração, tendo como principais culturas comerciais, durante a safra de verão, a soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e o milho (*Zea mays* L.). Nos cultivos de inverno, o trigo (*Triticum aestivum* L.) é a principal cultura comercial, sendo que a aveia preta (*Avena strigosa* L.) é a utilizada como cultura de cobertura de forma isolada ou consorciada com nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.).

Foi utilizado o equipamento Veris 3100 (Veris Technologies<sup>®</sup>, Salina – KS, EUA<sup>®</sup>) na área de estudo na profundidade de 0-0,30m para levantamento da medida da condutividade elétrica do solo (Cea) antes da implantação do experimento, caracterizando assim a variabilidade espacial do solo e determinando duas zonas de manejo (ZM) para a área de estudo, uma de alta (ZA) e outra de baixa Cea (ZB) (Figura 2). Equipamentos como este têm sido amplamente utilizados em países como Estados Unidos e Argentina (Lund et al., 2001; Machado et al., 2006), sendo um método considerado de baixo custo e com elevada agilidade para determinar zonas de manejo (Shaner et al., 2008).

Desta forma o delineamento experimental foi o de faixas subdivididas com três repetições em um esquema de blocos ao acaso. As faixas foram compostas pelos tipos de semeadora (fileiras) e DVN e a dose fixa de nitrogênio (DFN) (colunas), sendo a subdivisão deste delineamento representadas pelas duas zonas de manejo, zona de baixa Cea (ZB) e para a zona de alta Cea (ZA), as quais foram estabelecidas antes da implantação do experimento. Os tratamentos de qualidade de semeadura investigados foram: a) semeadora com sistema mecânico e dosador em discos – Victoria<sup>®</sup> (SM); b) semeadora com sistema pneumático e organizador de sementes (vSet-precion planting<sup>®</sup>) – Victoria DPS<sup>®</sup> (SP); c) semeadora com sistema pneumático e organizador de sementes – Victoria DPS<sup>®</sup> acoplado a trator com piloto automático e com sinal de correção RTK (SPP). Estes

tratamentos pertenceram as faixas principais nos blocos avaliados, sendo subdividido em dose variável de nitrogênio (DVN) e dose fixa de nitrogênio (DFN).

As aplicações na DVN foram realizadas utilizando o sensor ativo de espectrometria óptica N-Sensor ALS<sup>®</sup>, conforme descrito por Bragagnolo et al., (2013). O N-sensor é capaz de realizar um elevado número de registros por ha, com 10 observações por segundo, possibilitando capturar eficientemente a variabilidade espacial do IV das plantas na lavoura (Jasper et al., 2009). Este sensor tem sido utilizado com sucesso para recomendação da adubação nitrogenada para as culturas do trigo (Heege et al., 2008; SCHAWELBERT et al., 2014), milho (Tremblay et al., 2009; BRAGAGNOLO et al., 2013), cana de açúcar (Singh et al., 2006; Portz et al., 2011).

Para a DFN foi utilizado como referência os teores de matéria orgânica do solo, a cultura antecessora e a expectativa de produtividade da cultura (COMISSÃO..., 2004). As semeadoras utilizadas apresentavam dez linhas com espaçamento entre linha de 0,50m, sendo a largura útil dos tratamentos representada por duas passadas de semeadora, consistindo 11m, e o comprimento total para estudo de 120m, sendo subdividido em 60m para a DVN e DFN, respectivamente, que realizavam as fertilizações perpendicularmente com uma angulação de 90° a linha de semeadura, sendo a largura de aplicação de 30m. Desta forma, a área útil para os tratamentos era de 1.320 m<sup>2</sup> para cada bloco.

Na tabela 1 é apresentada a média das análises químicas nos blocos, realizada quando da implantação do experimento e a média das avaliações da condutividade elétrica aparente. A adubação do experimento foi ajustada para uma produtividade alvo de 10.000 kg ha<sup>-1</sup> (COMISSÃO....2004). As quantidades utilizadas foram 72 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 27 kg ha<sup>-1</sup> de N na base de semeadura; 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em cobertura. As doses de N utilizadas foram particionadas na semeadura, no estágio de V4 (70 kg ha<sup>-1</sup>) e V8 (90 kg ha<sup>-1</sup> de N), sendo a DVN realizada apenas

em V8. As fontes destes nutrientes foram ureia (44%N), difosfato de amônio-DAP (18%N e 48%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (58% K<sub>2</sub>O).

O híbrido utilizado em ambos os anos de estudo foi o híbrido simples, Pioneer 30F53YH, que possui elevada área semeada no estado do Rio Grande do Sul. O experimento foi implantado no dia 11 de setembro de 2014, sendo a população alvo de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As condições de umidade e temperatura no momento da semeadura foram adequadas, com uma profundidade da semente no sulco de 0,03m, respeitando-se uma velocidade de 5 km h<sup>-1</sup> para a operação. O vigor e a germinação das sementes foram de 91 e 95%, respectivamente.

Para as avaliações da qualidade de semeadura foram utilizados os índices de coeficiente de variação (CV) e o desvio padrão (DP) da distribuição de plantas na fileira de semeadura sendo o levantamento destes dados no estágio de V4 da cultura. Para isso foi utilizado 5m lineares em dez fileiras de semeadura para cada tratamento, realizando a mensuração do espaçamento entre cada planta. No estágio V8 da cultura, momento da aplicação nitrogenada, foi feita uma leitura do índice de vegetação (IV) ao longo dos tratamentos com a utilização do sensor óptico, N-sensor ALS® (YARA). Este sensor óptico realiza a determinação do IV baseado na reflectância de ondas espectrais nos comprimentos de 730 nm e 760 nm, que é altamente correlacionado com a quantidade de N absorvido pelas plantas (Jasper et al., 2009; Portz et al., 2011; Bragagnolo et al., 2013).

A colheita foi realizada com uma colhedora TC5090®, New Holland equipada com sensor de colheita de fluxo de massa acoplado ao elevador de grãos TOPPER 4500® (STARA), sendo a plataforma de 5,5 metros, largura útil das semeadoras utilizadas no experimento. Após a colheita, os dados foram tabulados, utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2007® e o CR - Campeiro 7 eliminando através de filtragens, as principais fontes de erros tais como: erros de posicionamento

(coordenadas repetidas) e valores de produtividade improvável, seguindo o proposto por BLACKMORE et al., (2003); Menegati & Molin (2004).

A predição da significância para cada variável dependente foi realizada utilizando estimativas de componente de variância dos fatores aleatórios obtidos pelo método de máxima verossimilhança restrita (REML), a partir do procedimento PROC MIXED no SAS v 9.1 (SAS Institute Inc., USA), empregando o modelo proposto por SCHABENBERGER & FRANCIS (2002). Quando o efeito dos tratamentos foi significativo ( $P \leq 0,05$ ), a significância da diferença entre as médias dos tratamentos foi determinada usando o método de comparação múltipla de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). A normalidade dos dados foi testada usando o procedimento PROC UNIVARIATE. Equações de regressão linear foram utilizadas para avaliar a relação entre a qualidade de semeadura proporcionada pelos distintos dosadores de semente e atributos de planta e produtividade do milho nos ambientes avaliados. As análises de regressão foram feitas pelo programa Sigma Plot for Windows (Systat Inc. Chigago, IL, EUA) versão 12.0, utilizando-se o teste F ( $p < 0,05$ ).

### **3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### *3.4.1 Variabilidade no espaçamento entre plantas influenciada pelo tipo de semeadora*

As semeadoras investigados (SM e SP) proporcionaram qualidade de semeadura distinta não ocorrendo interação do piloto automático em (SPP) para uma melhor distribuição de plantas na fileira, sendo o seu comportamento semelhante a SP. Embora, a população de plantas nos tratamentos SM e SP tenha sido similar, sendo 78.228 ( $\pm 4.044$ ) e 78.390 ( $\pm 2.749$ ), respectivamente (Tabela 3). Com base na população alvo, o erro médio de população foi de +4,3 e +4,5 % para SM e SP, respectivamente. De qualquer forma, ambos os tratamentos foram eficientes em estabelecer a população de plantas alvo. Já nas avaliações de distribuição de plantas ao longo da fileira de semeadura o CV médio das fileiras foi de 36,1 ( $\pm 6,7$ ) e 19,7% ( $\pm 4,1$ ) para o SM e SP, respectivamente.

Portanto, no tratamento SM o CV do arranjo espacial das plantas foi elevado, contrastando com o SP que ficou em faixa aceitável,  $CV = 20,0\%$  (Vieira Junior et al., 2006). Este resultado corrobora com Schimandei et al.(2006) em avaliações de campo, no Brasil, na região de Campos Gerais-Paraná, onde conclui-se que o processo de semeadura na região estava sendo eficiente em relação ao número de plantas por área, no entanto existia uma grande variabilidade na distribuição das plantas na fileira de semeadura.

Outro índice de avaliação da qualidade de semeadura mensurado no experimento é o DP, que também diferiu entre os dois sistemas dosadores, sendo os valores de 0,10 e 0,05m para SM e SP respectivamente (Figura 3). Assumindo, o DP = 0,05m como sendo um arranjo espacial de elevada qualidade (Nielsen, 2001), observou-se que o tratamento SM ficou acima deste referencial, enquanto o SP ficou na faixa aceitável. Estes valores representam para SM 20,1% das plantas com espaçamento entre elas abaixo de 0,19m, sendo o espaçamento médio de 0,27m. Isso significa plantas muito próxima uma das outras competindo por água, luz e nutrientes, sendo o milho muito sensível à competição intraespecífica. Em contrapartida no SP apenas 7,0% das plantas estão com espaçamentos entre elas abaixo dos 0,19m. Ainda pode-se observar que no SM 6,8% das plantas encontravam-se com espaçamento entre elas maior do que 0,39m, resultando em espaços vazios não preenchidos por plantas, já para SP este valor foi de 1,0%.

Deste modo para o SP observa-se que aproximadamente 74% das plantas apresentavam uma distribuição entre elas com apenas um erro de  $\pm 0,06m$ , em relação ao espaçamento médio e que este sistema foi eficiente em reduzir em aproximadamente 3 vezes a porcentagem de plantas com espaçamentos abaixo dos 0,18m, e em aproximadamente 7 vezes o número de plantas com espaçamento acima dos 0,39m.

*3.4.2 Relação da variabilidade no espaçamento entre plantas e da forma de aplicação de nitrogênio com a produtividade do milho*

Para o experimento, primeiramente destaca-se que houve interação entre os tratamentos avaliados e a ZM definidas pela Cea do solo, sendo este equipamento eficiente em detectar a variabilidade espacial (Corwin & Lesch, 2003) e na definição das zonas de manejo (Shaner et al., 2008). Para SM e SP independente da ZM e da forma de fertilização nitrogenada a melhor distribuição de plantas resultou em maior produtividade de grãos. A utilização do piloto automático na operação de semeadura (SPP), não apresentou diferença a SP. Já para a fertilização nitrogenada, na ZB a DVN só obteve diferença significativa na produtividade de grãos para SM. Em contrapartida na ZA a utilização DVN obteve diferenciação na produtividade de grãos para os dois sistemas de semeadora utilizados em relação a DFN (Figura 5).

Em relação a DVN observa-se que as leituras de IV realizadas no momento da fertilização nitrogenada diferenciaram-se em seus níveis de acordo com a ZM independente da qualidade de semeadura, não ocorrendo relação do IV com a variabilidade na distribuição de plantas. Para a prescrição da dose de N, observa-se para ZB na média dos tratamentos SM e SP que apenas 23% da área obteve a dose referência que era de  $96 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo o restante variado de acordo com a variabilidade do IV das plantas, enquanto para a ZA na média dos tratamentos SM e SP este valor foi de 49% (Figura 4). Por mais que a amplitude de variação tenha sido baixa com uma diferença média nos tratamentos entre o valor mínimo e máximo para ZA na SM e na SP de 7 e 8  $\text{kg ha}^{-1}$  de N e para ZB na SM e na SP de 24 e 12  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, tem-se uma relação que para cada 50  $\text{kg ha}^{-1}$  de produtividade de grãos de milho, existe uma necessidade de 1  $\text{kg ha}^{-1}$  de N (FANCELLI, 2000; DOERGE, 2001). Desta forma essa redistribuição do N na dose variável, por menor que seja torna-se relevante na busca de incrementos na produtividade da cultura.

Neste sentido a produtividade para SM, SP e SPP com a utilização de DFN foi de 5.059, 5.541 e 5.752  $\text{kg ha}^{-1}$  e para a DVN foi de 5.404, 5.824 e 5.908  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente. O simples fato de se ter uma melhor distribuição de plantas com uma redução de aproximadamente 16 pontos percentuais no CV da distribuição de plantas se expressou em um incremento na produtividade de

8,6% independente da forma de aplicação do nitrogênio. Já para a DVN independente da qualidade de distribuição das plantas o incremento médio da produtividade foi de 5,9%, próximo do encontrado por BRAGAGNOLO et al., (2013b). Desta forma para esta ZM a melhor distribuição de plantas teve um impacto maior na produtividade do que a forma de aplicação do nitrogênio, devido provavelmente ao déficit hídrico que ocorreu no florescimento da cultura, sendo a competição intra-específica um fator determinante, principalmente para um ambiente de menor potencial produtivo. No entanto destaca-se que a DVN demonstrou-se como uma alternativa eficiente para incrementar a produtividade no tratamento que se teve problemas em obter uma distribuição uniforme de plantas na fileira (Figura 4).

Na ZA às produtividades para SM, SP e SPP com a utilização de DFN foram de 6.614, 7.354 e 7.274 kg ha<sup>-1</sup> e para a DVN foram de 7.326, 7.753 e 7.763 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Novamente a redução de 16 pontos percentuais no CV da distribuição de plantas se expressou em um ganho médio na produtividade para SP em relação a SM, independente da forma de aplicação do nitrogênio de 8,5%. Para a DVN, independente da qualidade da distribuição de plantas o incremento médio foi de 8,1%, chegando a 10,8% para SM. Este resultado demonstra uma maior eficiência na utilização da DVN, em um ambiente de maior potencial produtivo e demonstra a importância da consideração de ZM para em estudos futuros ajustar e melhorar a eficiência da aplicação nitrogenada em dose variável utilizando sensores ópticos (Roberts et al., 2012 & Schawberlt et al., 2014).

Além disso, para um ambiente de produção com um potencial produtivo do solo maior a soma de tecnologias, com a utilização de uma semeadora que proporcionou uma melhor distribuição de plantas associado com a DVN resultou em um incremento de 17% na produtividade quando comparado a SM com DFN, tratamento esse que é a realidade da maioria das lavouras de milho brasileira. Portanto, este experimento demonstra a importância da redução da variabilidade na distribuição de plantas e ainda que a dose variável de nitrogênio pode reduzir o efeito causado por

uma distribuição irregular de plantas, ou ainda potencializar o teto de produção da cultura quando associado a uma boa plantabilidade.

### 3.5 CONCLUSÕES

A utilização da condutividade elétrica aparente para definição de zonas de manejo demonstrou-se eficiente, sendo os valores de índice de vegetação e o teto produtivo dos ambientes delimitados distintos.

A utilização de uma semeadora com dosador pneumático e organizador de sementes diminuiu a variabilidade na distribuição entre as plantas na fileira, sendo eficiente para obter-se um CV =20% e um DP de 0,05m, próximos da equidistância entre plantas e de uma boa plantabilidade.

A melhor distribuição de plantas independente da forma da aplicação de nitrogênio e da zona de manejo foi a que proporcionou maior incremento na produtividade.

A dose variável de nitrogênio foi eficiente, incrementando a produtividade da cultura no tratamento da semeadora com sistema mecânico e ainda potencializou a produtividade quando associado a uma distribuição de plantas mais uniforme em um ambiente com capacidade produtiva maior, mesmo em um ano com restrições hídricas.

### 3.6 REFERÊNCIAS

Amado, T. J. C.; Pontelli, C. B.; Santi, A. L.; Viana, J. H. M. & Sulzbach, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

Andrade, F. H.; Sadras, V. O. Bases para el manejo del maiz, el girassol e la soja. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2003. 443 p.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS. S. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. **Bios. Eng.**, v. 84 p. 455–466, 2003.

BONGIOVANNI, R. **A spatial econometrics approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production.** 2002. 280f. Ph.D. Thesis. (Department of Agricultural Economics), Purdue University, West Lafayette, IN (EUA), 2002.

BRAGACHINI, M.; BONGIOVANNI, M.; MENDEZ A.; SCARAMUZZA, F. Fertilización y densidad de siembra variable. Informe Técnico de divulgación, 2004 Disponível em: ><http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Fertilizacion-y-Densidad-Siembra-Variable.asp><.

BRAGAGNOLO, J.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. da S.; JASPER, J.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. DE G. Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: i - plant nutrition and dry matter production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)**, v. 37, p. 1288-1298, 2013 (a).

BRAGAGNOLO, J.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. da S.; SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; TABALDI, F. Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: II - indices of fertilizer efficiency and corn yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)**, v. 37, p. 1299-1309, 2013. (b).

CORWIN, D. L. & S. M. LESCH. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**. v. 95, p. 471-471, 2003.

CQFSRS/SC. Comissão de química e fertilidade do solo. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004.

DOERGE, T. Variable-rate nitrogen management for corn production-Success proves elusive. **Crop Insights**, v. 11, n. 11, p. 1-6. Pioneer Hi-Bred International, Inc, 2001.

DURÃES, F. O. M.; SANTOS, M. X.; GAMA, E. G.; MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; GUIMARÃES, C. T. Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores. In: **Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica**, v. 35, 20p, 2004.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 2006.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**, 2000. Guaíba: Livraria e Editora. Agropecuária, 360p.

FONTOURA, S. M. V. & BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1721-1732, 2009.

GLAT, D. A dimensão do milho no mundo.2010 Disponível em: <<http://www.agranja.com/index/revistas/agranja/edicao/738/materia/2842>>.

Horn, D. Qualidade de plantio: uma nova abordagem. **Boletim Informativo Pioneer**, v. 3, p.17-19, 2010.

JASPER, J.; REUSCH, S.; LINK, A. **Active sensing of the N status of wheat using optimized wavelength combination–impact of seed rate, variety and growth stage**. In E. J. Van Henten, D. Goense, & C. Lokhorst (Eds.), Precision agriculture'09 Proceedings of the 7th European conference on precision agriculture, 2009. (p.23–30). Wageningen, The Netherlands: Academic Publishers.

JORGENSEN, J. R. & JORGENSEN, R. N. Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen. **Prec. Agric.**, v. 8, p. 63-73, 2007.

LI, Y.; CHEN, D.; WALKER, C. N.; ANGUS, J. F. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. **Field Crops Res.**, v. 118, p. 221–227, 2010.

LUND, E. A.; WOLCOTT, M. C.; HANSON, G. P. Applying nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. **Scientific World**, v. 1, p. 767-776, 2001.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 41, n. 6, p. 1023-1031, 2006.

MELCHIORI, R.; PAUTASSO, J.; ALBARENQUE, S.; KEMERER, A.; **Fertilización nitrogenada em trigo según zonas de manejo**, 2011. In 10º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 5ta Expo de Máquinas, Córdoba-Argentina. 2011.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 126-134, 2004. doi: 10.1590/S1415-43662004000100019.

NIELSEN, B. Stand establishment variability in corn. **AGRY-91-01**. Purdue Univ., West Lafayette, IN. 2001 Disponível em: [https://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AGRY-91-01\\_v5.pdf](https://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AGRY-91-01_v5.pdf).

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1989. 442p.

PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Prec. Agric.**, 2011.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. S. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 43 p. 1075-1083, 2008.

RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; STONE, M. L. Independence of yield potential and crop nitrogen response. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 508-518, 2011.

ROBERTS, D. A.; FERGUNSON, R. B.; KITCHEN, N. R.; ADAMCHUCK, V. I.; SHANAHAN, J. F. Relationships between Soil-Based Management Zones and Canopy Sensing for Corn Nitrogen Management. **Agronomy Journal**. v. 104, p. 119–129, 2012.

ROJAS, C. A. L.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WEBER, M. A. & VIEIRO, F. Volatilização de amônia da uréia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 36, p. 261-270, 2012.

RUFFO, M. Development of site-specific production functions for variable rate corn nitrogen fertilization. 2003. Ph.D. Thesis. (Dept. of Crop Sciences). University of Illinois at Urbana - Champaign, IL (USA), 121p. 2003.

SANGOI, L.; SCHIMITT, A.; VIEIRA, J.; PICOLI, G. J.; SOUZA, C. A.; CASA, R. T.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; MACHADO, G. C.; HORN, D. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, p. 268-277, 2012.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHIMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T.; SOUZA, C. A. Perfilamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 609-616, 2011.

SCHABENBERGER, O.; PIERCE, F. J. Contemporary Statistical Models for the Plant and Soil Sciences. CRC Pres, Boca Raton, FL. p. 493 (2002).

SCHIMANDEIRO, A.; NETO, P. H. W.; GIMENEZ, L. M.; COLET, M. J.; GARBUIO, P. W. Distribuição longitudinal de plantas de milho (*Zea mays* L.) na região dos Campos Gerais, Paraná. **Revista Ciência Rural**, v. 36, p. 977-980, 2006.

SCHWALBERT, R. A.; AMADO, T. J. C.; GEBERT, F. H.; SANTI, A. L.; TABALDI, F. Zonas de manejo: atributos de solo e planta visando a sua delimitação e aplicações na agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 2, p. 21-32, 2014.

SHANER, D. L.; FARAHANI, H. J.; BUCHLEITER, G. W. Predicting and Mapping Herbicide–Soil Partition Coefficients for EPTC, Metribuzin, and Metolachlor on Three Colorado Fields. **Weed Science**. v. 56, p. 133– 139, 2008.

SINGH, I.; SRIVASTAVA, I. A.; CHANDNA, P.; GUPTA, R. Crop sensors for efficient nitrogen management in sugarcane: Potential and constraints. **Sugar Tech**. v. 8, p. 299-302, 2006.

SNYDER, C.; HAVLIN, J.; KLUITENBERG, G.; SCHROEDER, T.; **Evaluating the economics of precision agriculture**. In: Proceedings of the Fourth International Conference of Precision Agriculture, Part B, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, 1999. p. 1621–1632.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; MOLIN, J. P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A.; MASCARIN, L. S.; FAULIN, G. D. C.; & DETOMINI, E. R. População de plantas e alguns atributos do solo relacionados ao rendimento de grãos de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 483-492, 2006.

TABELA 1. Características químicas do solo 0-0.15 m nos blocos avaliados

ZM	Cea	MOS	P	K	Al	Ca	Mg	CTC	pH H <sub>2</sub> O	Argila
	%		mg dm <sup>-3</sup>		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				1:1	g kg <sup>-1</sup>
ZA	10,2	3,3	20,4	0,64	0,0	4,2	2,8	12	5.5	650
ZB	8,1	3,4	22,4	0,54	0,0	5,1	3,1	11	5.7	600

TABELA 2. População de plantas e coeficiente de variação das linhas avaliadas para SM e SP

Linha	População de plantas		CV%	
	SM	SP	SM	SP
1	76.322(±1.413)	80.174(±2.820)	35,6(±3,6)	22,1(±1,6)
2	81.150(±3.723)	79.292(±1.662)	35,4(±4,8)	21,2(±4,3)
3	79.874(±4.695)	76.879(±4.217)	40,3(±7,3)	22,6(±5,2)
4	76.976(±4.056)	77.724(±3.942)	35,8(±10,8)	21,2(±6,0)
5	76.965(±1.671)	79.483(±2.697)	37,9(±1,4)	17,0(±1,8)
6	77.380(±2.006)	78.180(±3.434)	35,8(±6,6)	18,2(±0,8)
7	81.176(±4.769)	77.525(±2.974)	31,3(±2,1)	14,8(±3,1)
8	77.248(±8.748)	78.193(±3.851)	39,4(±9,0)	18,2(±4,7)
9	78.017(±4.581)	77.993(±2.399)	37,7(±12,4)	23,1(±0,9)
10	76.472(±1.230)	78.452(±1.919)	31,94(±7,5)	18,35(±1,4)

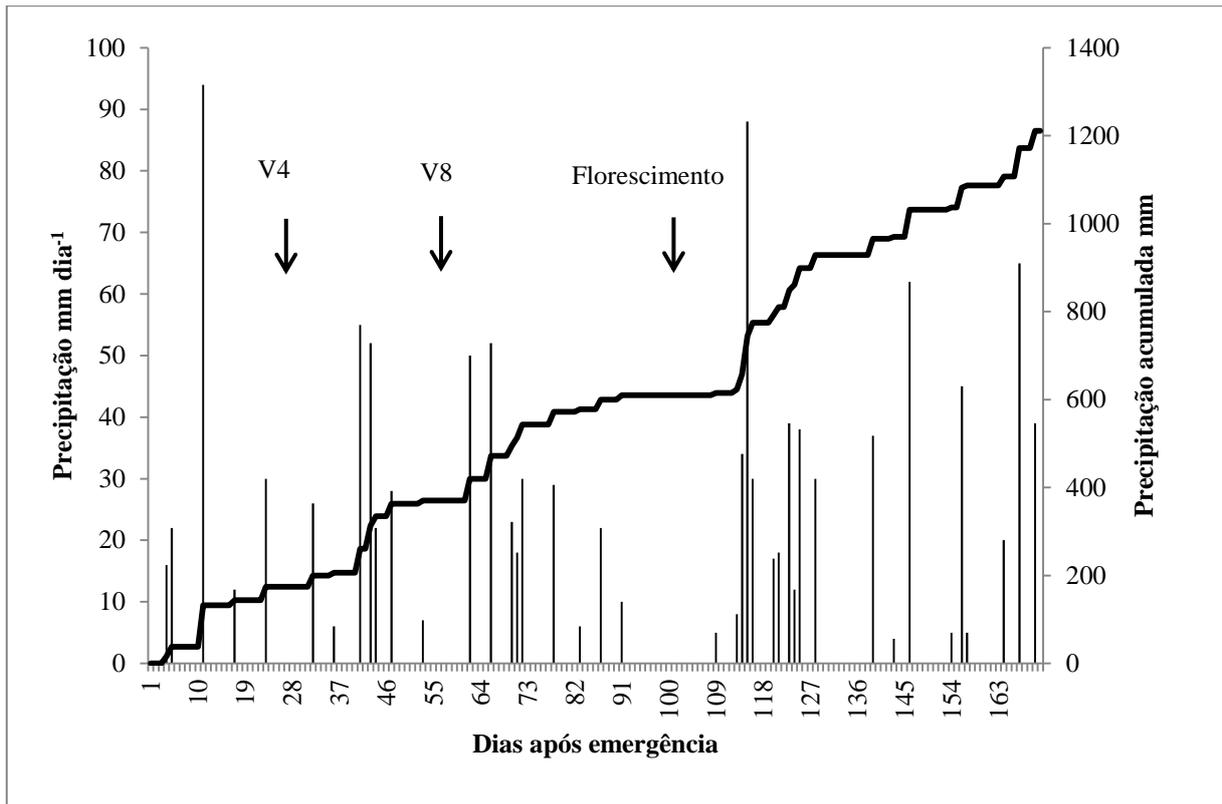


FIGURA 1. Distribuição das chuvas e chuva acumulada ao longo do ciclo da cultura para o experimento

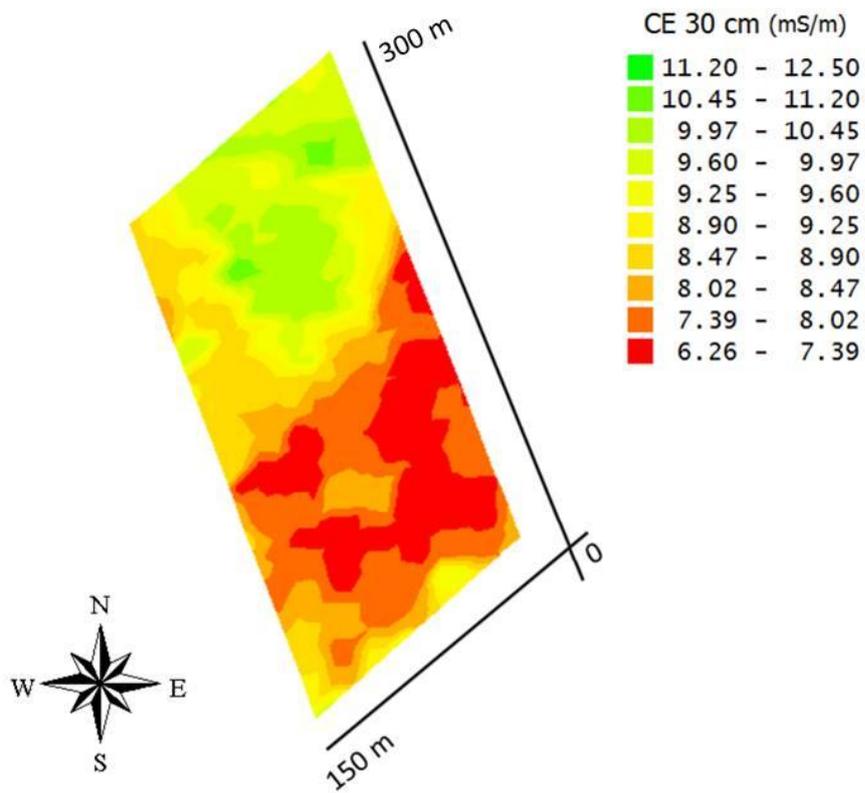


FIGURA 2. Variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente de 0-0,30m para a área de estudo

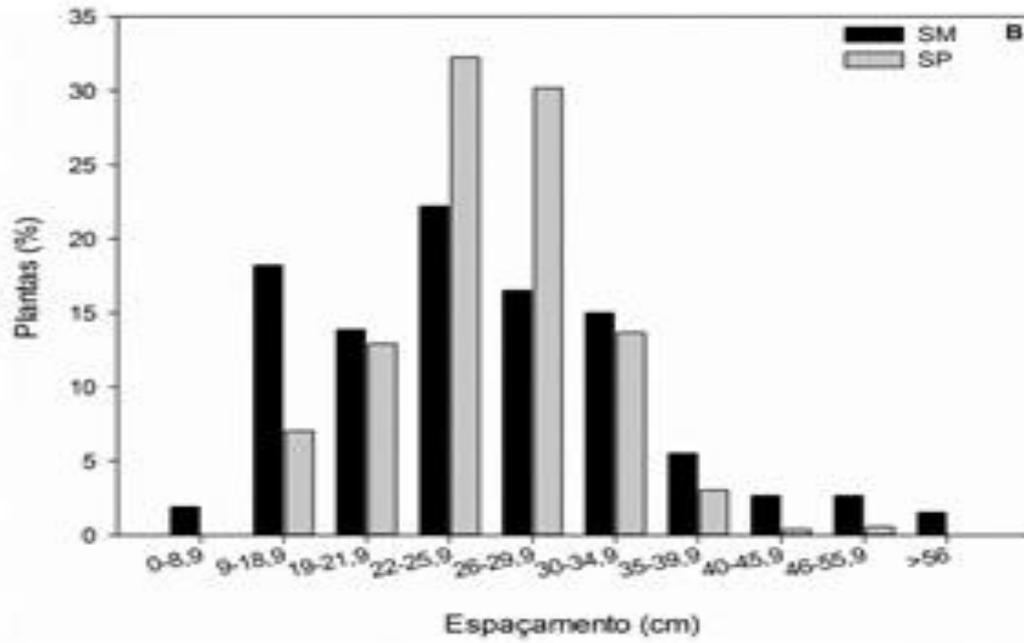


FIGURA 3. Distribuição do espaçamento entre plantas para Semeadora mecânica(SM) e Semeadora Pneumática(SP)

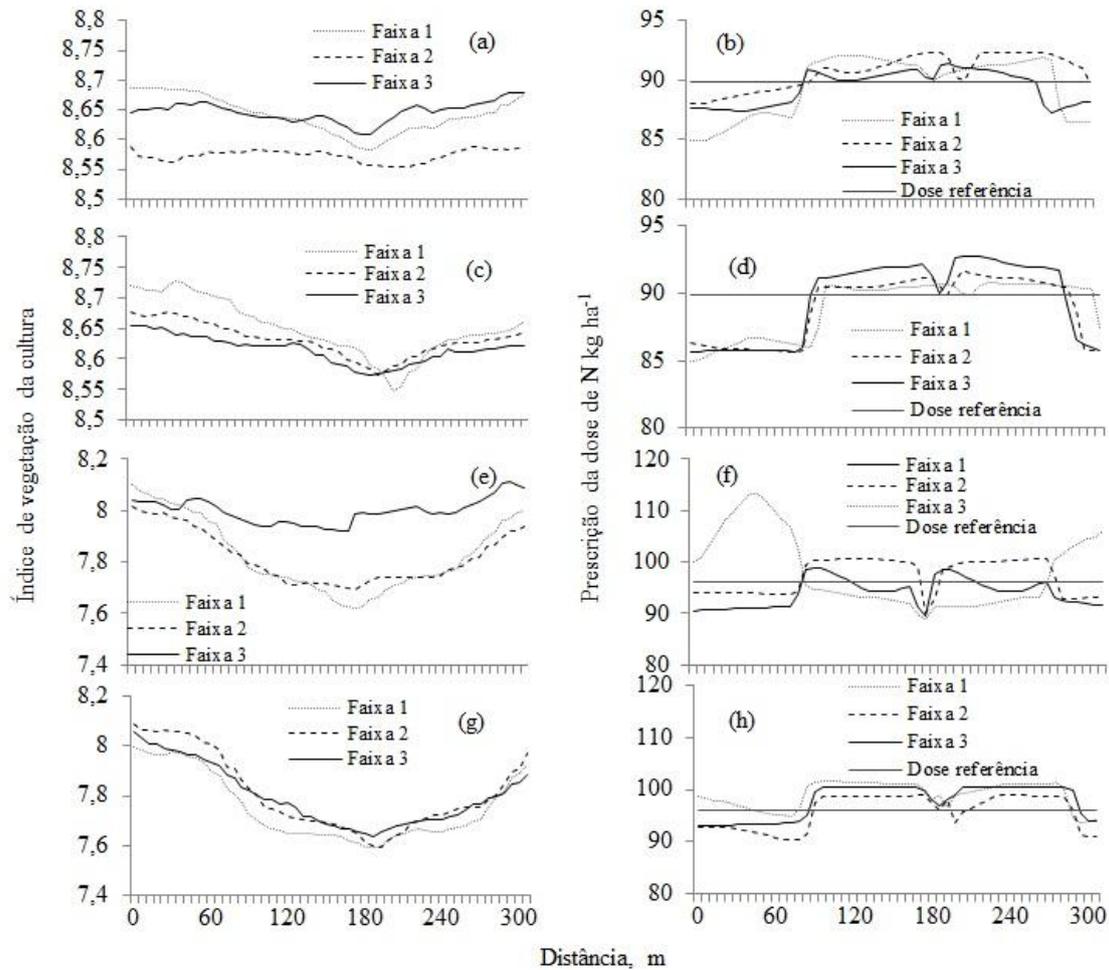


FIGURA 4. Índice de vegetação (IV) da cultura para semeadora mecânica (SM) e semeadora pneumática (SP) na zona de alta (ZA) (a) e (c) e para zona de baixa (ZB) (e) e (g) e dose variável de N estimada por sensor óptico e a dose referência para SM e SP na ZA (b) e (d) e para ZB (f) e (h)

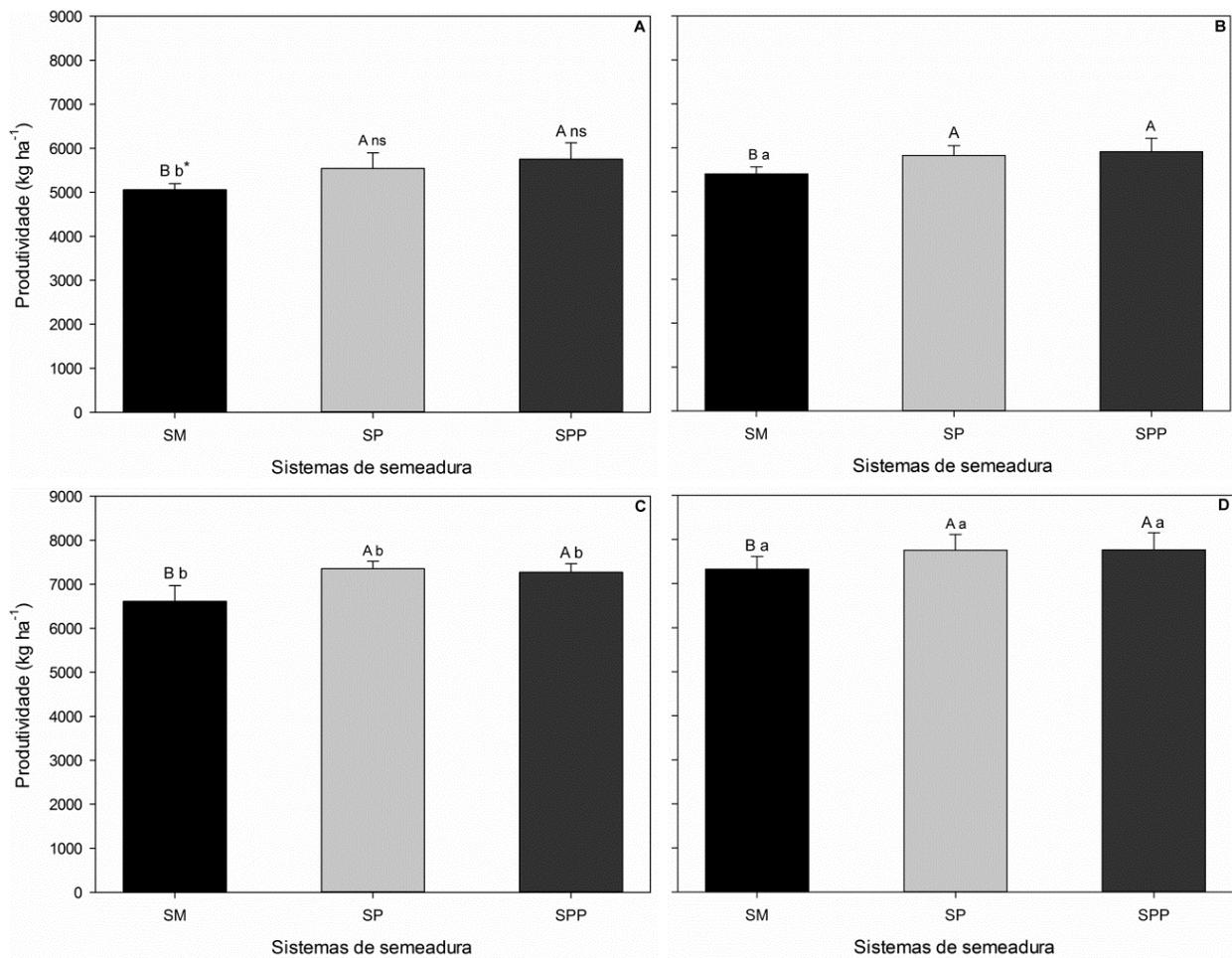


FIGURA 5. Produtividade de grãos em função do sistema de semeadura com dose fixa de nitrogênio em ZB e ZA (A) e (C) e com dose variável de nitrogênio em ZB e ZA (B) e (D)

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, maiúscula entre sistemas de semeadura dentro de cada Zona de manejo e minúscula entre sistemas de semeadura na linha/Forma de aplicação de N dentro de cada Zona de manejo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## 4 CONCLUSÕES GERAIS

A utilização de uma semeadora pneumática com organizador de sementes melhorou a distribuição espacial das plantas de milho em relação a semeadora mecânica com dosador em discos, que é tradicionalmente utilizado no Brasil, sendo eficiente para obter um CV = 20% e um DP de 0,05 m, espaçamento este próximo da equidistância entre as plantas. A melhor distribuição de plantas proporcionou um desenvolvimento mais uniforme das plantas com uma maior homogeneidade nos índices de NDVI e na produtividade conforme avaliações no estudo planta a planta, o que potencializou o teto produtivo do milho em 9% para os experimentos avaliados, justificando a utilização deste sistema quando comparado com a semeadora mecânica.

O estudo de caso demonstrou que a medida que aumenta a variabilidade na distribuição de plantas o NDVI médio das plantas diminuiu e que para cada aumento em 10 pontos percentuais no CV da distribuição de plantas na fileira a redução média na produtividade é de 1.085 kg ha<sup>-1</sup> e que para um ano em que as condições climáticas foram adequadas para o desenvolvimento da cultura o teto produtivo do milho já é comprometido a partir de um CV da distribuição de plantas de 10%, distribuição esta muito próxima da equidistância. Desta forma novos estudos avaliando o efeito do erro da semeadura na produtividade devem ser conduzidos para diferentes materiais genéticos e condições de ambiente, buscando avaliar a variabilidade planta a planta para evitar ruídos quando se analisa em macroparcelsas.

A utilização de dose variável de nitrogênio foi eficiente na cultura do milho, sendo uma alternativa para diminuir o efeito negativo que se tem com uma distribuição irregular de plantas, porém quando associado a uma distribuição de plantas mais uniforme em um ambiente com capacidade produtiva maior, mesmo em um ano com restrições hídricas potencializou ainda mais a produtividade da cultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 241-248, 2002.

ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O. **Bases para el manejo del maiz, el girassol e la soja**. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2003. 443 p.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. *Rev. Ciência Rural*, v. 31, p. 1075-1084, 2001.

BRAGACHINI, M.; MENDEZ, A.; SCARAMUZZA, F.; VELEZ, J. P.; VILARROEL, D. Dosificación variable de insumos. In: *9<sup>no</sup> Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 4<sup>ta</sup> Expo de Máquinas Precisas*, Córdoba-Argentina, 2010.

BREDEMEIER, C.; SCHMIDHALTER, U. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat under controlled environment and field conditions. In J. V. Stafford (Ed.), *Precision agriculture'05. Proceedings of the 5th European conference on precision agriculture* (pp. 273–280). Wageningen, The Netherlands, Uppsala, Sweden: **Academic Publishers**, 2005.

CASA, R.; CAVALIERI, A.; CASCIO, B. L. Nitrogen fertilisation management in precision agriculture: a preliminary application example on maize. *Italian Journal of Agronomy*, v. 6: e 5, p. 23-27, 2010.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L.; LOPES, P. P. Corn: plant population and plant arrangement (Milho: população e distribuição de plantas). In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) *Corn: technology to high productivity (Milho: tecnologia da produtividade)*. Piracicaba: Esalq, pp. 120-5, 2001.

GLAT, D. **A dimensão do milho no mundo**, 2010 Disponível em: <<http://www.agranja.com/index/revistas/agranja/edicao/738/materia/2842>>.

HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. *Precision Agriculture*, 14, 2013 doi: 10.1007/s11119-013-9308-7.

HORN, D. Qualidade de plantio: uma nova abordagem. **Boletim Informativo Pioneer**, v. 3, p. 17-19, 2010.

KITCHEN, N. R.; HUGHES, D. F.; SUDDUTH, K. A.; BIRRELL, S. J. **Comparison of variable rate to single rate nitrogen fertilizer application: corn production and residual soil NO<sub>3</sub>-N**. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., Madison. Proceeding. Madison: ASA, 1995. p. 427-439, 1995.

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Intra-specific competition in maize: Early establishment of hierarchies among plants affects final kernels set. *Field Crops Res.* 85:1-13, 2004 doi: 10.1016/S0378-4290(03)00104-7.

RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; STONE, M. L. Independence of yield potential and crop nitrogen response. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 4, p.508-518, 2011.

SANGOI, L.; SCHIMITT, A.; VIEIRA, J.; PICOLI, G. J.; SOUZA, C. A.; CASA, R. T.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; MACHADO, G. C.; HORN, D. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, p. 268-277, 2012.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos do milho**. Lages: Graphel. 64p, 2010.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHIMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T.; SOUZA, C. A. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 609-616, 2011.

SCHIMANDEIRO, A.; NETO, P. H. W.; GIMENEZ, L. M.; COLET, M. J.; GARBUIO, P. W. Distribuição longitudinal de plantas de milho (*Zea mays* L.) na região dos Campos Gerais, Paraná. **Revista Ciência Rural**, v. 36, p. 977-980, 2006.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; MOLIN, J. P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A.; MASCARIN, L. S.; FAULIN, G. D. C.; DETOMINI, E. R. População de plantas e alguns atributos do solo relacionados ao rendimento de grãos de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 483-492, 2006.

## APÊNDICE

**APÊNDICE A** – Detalhe do estudo planta a planta na subparcela comparando tratamento com semeadora mecânica na parte superior e tratamento com semeadora pneumática no canto inferior

