

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

**AGRICULTURA POR AMBIENTE: MANEJO SÍTIO  
ESPECÍFICO DA POPULAÇÃO DE MILHO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Tiago de Andrade Neves Hörbe**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

# **AGRICULTURA POR AMBIENTE: MANEJO SÍTIO ESPECÍFICO DA POPULAÇÃO DE MILHO**

**Tiago de Andrade Neves Hörbe**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo.**

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

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Curso de Graduação em Agronomia**

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

**AGRICULTURA POR AMBIENTE: MANEJO SÍTIO ESPECÍFICO  
DA POPULAÇÃO DE MILHO**  
elaborada por

**Tiago de Andrade Neves Hörbe**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

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

---

**Dr. Antônio Luis Santi**  
UFSM – Campus Frederico Westphalen

---

**Dr. Jackson Ernani Fiorin**  
CCGL TEC/UNICRUZ

Santa Maria, 24 de fevereiro de 2012.

Aos meus pais André e Jussara Hörbe, pelo amor, educação, ensinamentos, apoio e por terem sido exemplo de honestidade e dignidade.

**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, 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.

A minha irmã Tatiane e familiares pelo apoio e incentivo.

Ao professor Telmo Jorge Carneiro Amado, que sempre foi mais do que um orientador, é um amigo com quem sempre posso contar. Um exemplo de dedicação, competência, honestidade e caráter. Obrigado por acreditar em mim.

Aos Mestrandos Paulo Alba, Fernando Hansel, Brian Trindade e Diego Schossler que ajudaram muito na execução do trabalho.

Aos Doutorandos Ademir, Jardes Bragagnolo e Vitor Girardello pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Aos bolsistas de iniciação científica Luzardo Foletto, Tiago Segabinazi, Júnior Kunz, pela amizade e pelo auxílio na execução das coletas e análises laboratoriais.

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

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

Universidade Federal de Santa Maria

### AGRICULTURA POR AMBIENTE: MANEJO SÍTIO ESPECÍFICO DA POPULAÇÃO DE MILHO

Autor: Tiago de Andrade Neves Hörbe

Orientador: Tiago de Andrade Neves Hörbe

Data: Santa Maria, 24 de fevereiro de 2012.

A agricultura de precisão (AP) baseia-se em intervenções sitio-específico, de acordo com a variabilidade espacial dos fatores produtivos. Essa estratégia tende a diminuir a variabilidade espacial da produtividade em relação ao obtido com o manejo uniforme e otimiza os recursos utilizados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste da população de plantas de milho utilizando como parâmetro, zonas de manejo. Para tanto, o trabalho foi composto por dois experimentos conduzidos em locais e anos agrícolas distintos, no município de Não-Me-Toque-RS, sendo as áreas experimentais próximas entre si. No experimento 1 (A), conduzido na safra 2009/2010, as zonas de manejo foram delimitadas através do conhecimento do histórico de produção através de observações do produtor rural, separando o talhão de estudo em zonas de baixa (ZB), média (ZM) e alta produtividade (ZA). Já para o segundo experimento (B), na safra 2010/2011 nove mapas de produtividade normalizados (sete safras de soja + duas de milho) foram sobrepostos gerando três zonas de manejo. As zonas foram classificadas em ZB apresentando produtividade relativa < 95% da produtividade média da lavoura, ZM entre 95-105 e ZA > 105%. O experimento foi um bifatorial com cinco taxas de semeadura variando de 50.000 a 90.000 sementes ha<sup>-1</sup> constituído de três zonas de manejo (ZB, ZM e ZA) sob Latossolo Vermelho Distrófico típico. Para o segundo experimento, acrescentou-se como avaliação o efeito do ajuste da população de milho às zonas de manejo e sua relação com a demanda de N pela cultura, utilizando-se como parâmetro as leituras com clorofilômetro e N na massa seca na floração plena da cultura. Em ambos experimentos, a população de milho foi relacionada com a produtividade nas zonas de manejo, com coeficiente de correlação de 0,89 (p>0,0004); 0,81 (p>0,0002); 0,97 (p>0,0002), para ZB, ZM e ZA, respectivamente. O ajuste da população de plantas de milho às zonas de manejo proporcionou incrementos na produtividade quando comparada com a população fixa (70.000 plantas ha<sup>-1</sup>). Esse incremento na ZB, devido a redução da população, foi de 1,20 Mg ha<sup>-1</sup> e 1,90 Mg ha<sup>-1</sup>, resultando em incremento econômico de 19,8 e 28,7% para (A) e para (B), respectivamente. Já na ZA, devido ao incremento da população, o incremento produtivo foi de 0,89 Mg ha<sup>-1</sup> e 0,94 Mg ha<sup>-1</sup> proporcionando um incremento econômico de 5,6 e 6,6% para (A) e (B), respectivamente. Para as avaliações de N no segundo experimento o aumento da população de milho na ZB ocasionou um decréscimo de 49% para as avaliações de clorofilômetro e 44% para o N absorvido quando comparado a ZA. No entanto o ajuste da população de milho ocasionou um melhor aproveitamento do N fertilizante, sendo o incremento do N absorvido pelo milho de 8,40 e 15% nas ZB e ZA quando comparado a população fixa de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** manejo sitio específico, plantio direto, zea mays.

# ABSTRACT

Master Dissertation

Graduate Program in Soil Science

Federal University of Santa Maria

## ENVIRONMENT AGRICULTURE: MANAGEMENT SITE SPECIFIC POPULATION OF CORN

Author: Tiago de Andrade Neves Hörbe

Advisor: Telmo Jorge Carneiro Amado

Date: Santa Maria, 24-02-2012

Precision agriculture (PA) is based on site-specific interventions, according to the spatial variability of productive factors. This strategy tends to decrease the spatial variability of yield in relation to that obtained with the uniform management and optimize the resources used. The objective of this study was to assess the population of corn plants using as a parameter, management zones. Thus, the work was composed of two experiments conducted in different locations and crop years, the municipality of Non-Touch-Me-RS, and experimental areas close together. In experiment 1 (A), conducted in 2009/2010, management zones were delineated through knowledge of the production history through observations of the farmer, separating the plot of study in areas of low (ZB), medium (ZM) and high productivity (ZA). As for the second experiment (B) in 2010/2011 harvest yield maps standard nine (seven + two crops of soybeans, maize) were superimposed generating three management zones. The areas were classified as presenting relative productivity ZB <95% of the average productivity of the crop, ZM between 95-105 and ZA > 105%. The experiment was a factorial with five seeding rates ranging from 50,000 to 90,000 seeds ha<sup>-1</sup> consists of three management zones (ZB, ZM and ZA) under Oxisol. For the second experiment, was added as an assessment of the effect of setting the maize population management zones and their relation to the demand of N by the crop, using as parameter the readings with chlorophyll and N in dry matter in full bloom culture. In both experiments, the maize population was related to productivity in the areas of management, with a correlation coefficient of 0.89 ( $p > 0.0004$ ), 0.81 ( $p > 0.0002$ ), 0.97 ( $p > 0.0002$ ) for ZB, ZM and ZA, respectively. The adjustment of the population of maize plants, parts management provided increases in productivity as compared with the fixed population (70,000 plants ha<sup>-1</sup>). This increase in ZB due to reduction of the population, Mg is 1.20 h<sup>-1</sup> and 1.90 h<sup>-1</sup> Mg, resulting in increased economic 19.8 and 28.7% for (A) and (B), respectively. In the ZA, due to increased population, increased production was 0.89 Mg ha<sup>-1</sup> and 0.94 Mg ha<sup>-1</sup> providing an economic growth of 5.6 and 6.6% for (A) and (B), respectively. Evaluations of N in the second experiment, the population growth of maize ZB caused a decrease of 49% for the evaluation of chlorophyll and 44% for N absorbed compared to ZA. However the adjustment of the maize population led to a better use of N fertilizer, and the increase in N uptake by corn of 8.40 and 15% in ZA and ZB when compared to fixed population of 70,000 plants ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** site-specific management, no tillage, zea mays.

## **LISTA DE QUADROS**

### **ARTIGO I**

Quadro 1-.....	23
Quadro 2-.....	24

### **ARTIGO II**

Quadro 1- .....	41
Quadro 2-.....	42



## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

Figura 1. ....	19
Figura 2. ....	20
Figura 3. ....	22
Figura 4. ....	25
Figura 5.....	26
Figura 6. ....	27
Figura 6. ....	28

### ARTIGO II

Figura 1. ....	39
Figura 2. ....	40
Figura 3. ....	43
Figura 4. ....	44
Figura 5. ....	46
Figura 6. ....	47

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	12
<b>2. ARTIGO I – População ótima de milho à zonas de manejo na agricultura de precisão</b> .....	14
<b>2.1. RESUMO</b> .....	14
<b>2.2. SUMMARY</b> .....	15
<b>2.3. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2.4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
<b>2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	22
<b>2.6. CONCLUSÃO</b> .....	29
<b>2.7. LITERATURA CITADA</b> .....	29
<b>3. ARTIGO II – Absorção do nitrogênio influenciada pelo ajuste da população de milho à zonas de manejo na agricultura de precisão</b> .....	35
<b>3.1. RESUMO</b> .....	35
<b>3.2. SUMMARY</b> .....	36
<b>3.3. INTRODUÇÃO</b> .....	36
<b>3.4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	38
<b>3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	42
<b>3.6. CONCLUSÃO</b> .....	48
<b>3.7. REFERÊNCIAS</b> .....	48
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	52
<b>5. LITERATURA CITADA</b> .....	53
<b>6. ANEXOS</b> .....	56

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos a cultura do milho tem adquirido maior importância dentro do sistema produtivo das propriedades agrícolas, não apenas pelo seu aspecto econômico, mas também como um importante componente do sistema de rotação de culturas. Essa maior adesão do milho no sistema produtivo deveu-se em partes ao melhoramento genético dos híbridos, que tem aumentado seus tetos produtivos e ao próprio manejo da cultura com a melhoria da fertilidade do solo e a redução do espaçamento entre linha da cultura que tem proporcionado um melhor arranjo de plantas na lavoura.

Plantas espaçadas de forma equidistante competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores; contudo, devido à interação, o efeito positivo da redução do espaçamento entre linha sobre o rendimento de grãos se manifesta mais claramente quando são utilizadas altas densidades, porém os resultados ainda não são consensuais, já que as condições ambientais e os genótipos variam entre os locais (Sangoi et al., 2002). Esta variabilidade é atribuída a variações nos fatores de oferta ambiental no solo (Fanceli & Dourado Neto, 2000), que devem ser considerados na definição de uma população de planta que proporcione rendimento máximo, para cada ambiente (Vieira Junior, 1999; Dourado Neto et al., 2001; Vieira Junior et al., 2006 e Molin et al., 2006).

O nitrogênio (N) é o nutriente demandado em maior quantidade pela cultura do milho, sendo a insuficiência no seu suprimento um dos mais frequentes fatores limitantes a obtenção de elevadas produtividades. 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, apresentando uma elevada variação espacial e temporal quanto a sua disponibilidade no solo (Casa et al., 2011). Neste sentido adubações em dose fixa de N, levando em consideração condições médias de um talhão podem levar a sub ou superfertilização, contribuindo para a baixa eficiência da adubação (Bredemeier & Schmidhalter 2005; Raun et al., 2011) e resultando em variações no rendimento ao longo do talhão de até 50% (Kitchen et al., 1995).

A agricultura de precisão (AP) considera que fatores de produção podem ser quantificados e, ao mesmo tempo georreferenciados, sendo possível realizar algum tipo de intervenção localizada nesta área em função da necessidade específica local, fundamentado na existência da variabilidade espacial dos fatores produtivos e da própria quantidade produzida pela cultura (Balastreire et al., 1997; Amado & Santi, 2007). Neste sentido a utilização de

mapas de rendimento torna-se ferramenta chave para a prospecção desta variabilidade, sendo utilizado para o estabelecimento de zonas de manejo ou potencial produtivo (Molin, 2002; Milani et al., 2006; Amado et al., 2007). Na Argentina, os técnicos usuários da agricultura de precisão definem esta estratégia como agricultura por ambiente (Maddonni, 2010) e vem sendo utilizada com sucesso por pelo menos cinco anos.

Usualmente são necessários vários mapas de rendimento de diferentes culturas sobrepostos para detecção da variabilidade espacial e temporal (Blackmore et al., 2003). A cultura do milho é uma das que apresenta maior potencial para definição das zonas de manejo (Amado et al., 2007). Esta informação permite a orientação de diversas práticas de manejo (Molin, 1997; Milani et al., 2006), sendo uma das mais utilizadas para intervenções sítio específico (Amado et al., 2007). Além dos mapas de rendimento outra informação que pode ser utilizada na definição de zonas com potenciais produtivos distintos é a identificação no talhão da variabilidade pelo produtor, observações de fotografias aéreas e imagens de satélite de safras anteriores (Bragachini et al., 2004). Neste sentido, a tecnologia dos controladores de dose variada utilizada para fertilizantes, pode ser utilizada nas semeadoras para variar a população de plantas em um talhão (Cambouris et al., 2002).

A utilização de dose variada de população de plantas de milho na agricultura de precisão no Brasil ainda é incipiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste de populações de plantas de milho aos diferentes ambientes da lavoura, utilizando como parâmetro as zonas de manejo, definidas com base em mapa de colheita associado ao conhecimento do produtor em duas áreas comerciais do Rio Grande do Sul.

## **2. ARTIGO I – População ótima de milho à zonas de manejo na agricultura de precisão<sup>1</sup>**

### **2.1. RESUMO**

A agricultura de precisão (AP) baseia-se em intervenções sítio-específico, de acordo com a variabilidade espacial dos fatores produtivos. Essa estratégia tende a diminuir a variabilidade espacial da produtividade em relação ao obtido com o manejo uniforme e otimiza os recursos utilizados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste da população de plantas de milho utilizando como parâmetro, zona de manejo. Para tanto, o trabalho foi composto por dois experimentos conduzidos em locais e anos agrícolas distintos, no município de Não-Me-Toque-RS. Para o experimento 1 (A), as zonas de manejo foram delimitadas através do conhecimento do histórico de produção juntamente com o produtor rural na safra 2009/2010, separando o talhão de estudo em zonas de baixa (ZB), média (ZM) e alta produtividade (ZA). No segundo experimento (B), conduzido na safra 2010/2011, nove mapas de rendimento normalizados (sete safras de soja + duas de milho) foram sobrepostos gerando três zonas de manejo. As zonas foram classificadas em ZB apresentando produtividade relativa < 95% da produtividade média da lavoura, ZM entre 95-105 e ZA > 105%. O deliamento experimental para os dois experimentos foi um bifatorial com cinco taxas de semeadura variando de 50.000 a 90.000 sementes ha<sup>-1</sup>, constituído de três zonas de manejo (ZB, ZM e ZA) sob Latossolo Vermelho Distrófico típico. Em ambos os experimentos, a população de plantas de milho foi relacionada com a produtividade nas zonas de manejo, com coeficiente de correlação de 0,89 (p>0,0004); 0,81 (p>0,0002); 0,97 (p>0,0002), para ZB, ZM e ZA, no (A) e (B) respectivamente. O ajuste da população de plantas de milho às zonas de manejo proporcionou incrementos na produtividade quando comparada com a população fixa (70.000 plantas ha<sup>-1</sup>). Esse incremento na ZB, devido a redução da população, foi de 1,20 Mg ha<sup>-1</sup> e 1,90 Mg ha<sup>-1</sup>, resultando em incremento econômico de 19,8 e 28,7% para (A) e (B), respectivamente. Já na ZA, devido ao incremento da população, o incremento produtivo foi de 0,89 Mg ha<sup>-1</sup> e 0,94 Mg ha<sup>-1</sup> proporcionando um incremento econômico de 5,6 e 6,6% para (A) e (B), respectivamente. A variação espacial da população de plantas de milho às zonas de manejo diminuiu a variabilidade do retorno econômico aumentando a lucratividade da área.

---

<sup>1</sup> Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do solo.

**Termos de indexação: plantio direto; taxa variada, zea mays**

## **2.2. SUMMARY: OPTIMUM POPULATION FOR CORN MANAGEMENT ZONES IN PRECISION AGRICULTURE**

Precision agriculture (PA) is based on site-specific interventions, according to the spatial variability of productive factors. This strategy tends to reduce the spatial variability of income in relation to that obtained with the uniform management and optimize the resources used. The objective of this study was to assess the population of corn plants using as a parameter, areas of productive potential. To this end, the work was composed of two experiments conducted in different locations and crop years in the municipality of Não-Me-Toque-RS, and agricultural areas close together. In the agricultural area in the first year of the experiment management zones were delineated through knowledge of the production history along with farmers, separating the plot of study in areas of low (ZB), medium (LB) and high yield (ZA) . As for the second experiment, nine standardized yield maps (seven + two crops of soybeans, maize) were generating three overlapping areas of productive potential. The areas were classified ZB showing relative yield <95% of median income of the farming, ZA and ZM between 95-105> 105%. The experiment was a two-factor with five seeding rates ranging from 50,000 to 90,000 seeds / ha consists of three management zones (ZB, ZM and ZA), conducted over two growing seasons (2009/10 and 2010/11) in Não-Me-Toque-RS, in oxisol. In both harvests, the population of corn plants was related to income in the areas of management, with a correlation coefficient of 0.89 ( $p > 0.0004$ ), 0.81 ( $p > 0.0002$ ), 0, 97 ( $p > 0.0002$ ) for ZB, ZM and ZA, respectively. The adjustment of the population of maize plants, management zones provided increments in income when compared to the fixed population (70,000 plants ha<sup>-1</sup>). This increase in ZB, due to reduction of population was 1.20 Mg ha<sup>-1</sup> and 1.90 Mg ha<sup>-1</sup>, resulting in economic growth of 19.8 and 28.7% for the 2009/10 and 2010 / 11, respectively. In the ZA, due to the increased population, increased production was 0.89 Mg ha<sup>-1</sup> and 0.94 Mg ha<sup>-1</sup> provides an economic growth of 5.6 and 6.6% for 2009/10 and 2010 / 11, respectively. The spatial variation of the population of maize plants according to the zone of yield potential, reduced the variability of economic returns by increasing the profitability of the area.

## **2.3. INTRODUÇÃO**

A agricultura de precisão (AP) considera que a variabilidade espacial dos principais fatores de produção possam ser identificados, quantificados e, ao mesmo tempo georreferenciados, possibilitando realizar intervenções localizadas (manejo sítio específico) em função da necessidade específica do local (Dudding et al., 1995; Balastreire et al., 1997; Amado & Santi, 2007). O manejo sítio específico tem sido utilizado na distribuição de fertilizantes e corretivos a dose variada (Neto et al., 2011). Esta estratégia de manejo tende a apresentar rendimentos mais homogêneas ao longo da lavoura e superiores ao manejo uniforme (Milani et al., 2006), otimizando os recursos disponíveis (Blackmore, 1994) e estando alinhado com os princípios de agricultura sustentável através do ajuste das quantidades de insumos, baseado nas necessidades específicas de cada sítio, evitando superdosagens (Goering & Hans, 1993; Portz et al., 2011).

Sítios com potenciais produtivos distintos são encontrados mesmo em lavouras bem manejadas, reflexo das subáreas com diferentes propriedades do solo ou de níveis diferenciados de qualidade do solo (Amado et al., 2005). No primeiro caso, a existência de variabilidade é natural. Fiorin et al., (1997) reportaram que a profundidade do horizonte de um Argissolo da região central do RS foi o principal responsável pela variabilidade do rendimento do milho. Ainda a declividade em áreas sem práticas mecânicas de controle da erosão tem sido reportado também como um provável responsável pela variabilidade da produção (Kravchenko & Bullock, 2000 ; Alba et al., 2011). No segundo caso, o menor potencial produtivo pode ser consequência do manejo como restrições física do solo, (compactação) ou química (deficiência ou desequilíbrio de nutrientes) (Amado et al., 2009; Neto et al., 2011). Neste sentido a utilização de mapas de rendimento torna-se ferramenta chave para a prospecção desta variabilidade, sendo utilizado para o estabelecimento de zonas de manejo ou potencial produtivo (Molin, 2002; Milani et al., 2006; Amado et al., 2007).

Usualmente são necessários vários mapas de rendimento de diferentes culturas sobrepostos para detecção da variabilidade espacial e temporal (Blackmore et al., 2003), sendo a cultura do milho uma das que apresenta maior potencial para definição das zonas de manejo (Amado et al., 2007). Recentemente Montovani, 2006 & Santi, 2007 definiram que a investigação da variabilidade da produtividade pode ser feita mediante o acúmulo de pelo menos três anos de mapeamento. Esta informação permite a orientação de diversas práticas de manejo (Molin, 1997; Milani et al., 2006), sendo uma das mais utilizadas para intervenções sítio específico (Amado et al., 2007). Além dos mapas de rendimento outra informação que pode ser utilizada na definição de zonas com potenciais produtivos distintos é a identificação

da variabilidade no talhão pela observação do produtor, fotografias aéreas e imagens de satélite de safras anteriores (Bragachini et al., 2004). Neste sentido, a tecnologia de dose variada utilizada nos distribuidores de fertilizantes, pode ser aplicada nas semeadoras para variar a população de plantas em um talhão (Cambouris et al., 2002).

O milho é o principal cereal produzido no Brasil, cultivado em cerca de 13,3 milhões de hectares, com produtividade média de 4,18 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2011). Apresenta uma acentuada variabilidade espacial em seu rendimento, principalmente em anos com instabilidade climática (Berlato et al., 2005, Amado et al., 2007), sendo reportado situações em que um talhão apresentou 65% de sua área com rendimentos inferiores a média (Molin et al., 2007). Esta variabilidade é atribuída a variações nos fatores de oferta ambiental no solo (Fanceli & Dourado Neto, 2000), que devem ser considerados na definição de uma população de planta que proporcione rendimento máximo, para cada ambiente (Vieira Junior, 1999; Dourado Neto et al., 2001; Vieira Junior et al., 2006 e Molin et al., 2006). Na Argentina, os técnicos usuários da agricultura de precisão definem esta estratégia como agricultura por ambiente (Maddonni, 2010) e vem sendo utilizada com sucesso por pelo menos cinco anos.

A associação entre o arranjo e a população de plantas é uma das práticas culturais que mais afeta o rendimento da cultura do milho (Almeida & Sangoi, 1996; Duvick & Cassan, 1999; Tollenaar & Wu, 1999; Sangoi et al., 2002; Tollenaar & Lee, 2002; Pereira et al., 2008). Aumentos no rendimento podem ser obtidos com o incremento na densidade de planta até atingir um nível ótimo, que é determinado pelas condições do ambiente, diminuindo com populações acima deste nível. Vieira Junior et al., (2006) atribuíram que o rendimento do milho foi influenciado pela população e distribuição espacial das plantas na linha, verificando que a heterogeneidade na distribuição espacial das plantas causou o mal posicionamento das populações nos sítios do talhão, contribuindo para a redução no rendimento de grãos em 28,7%, com populações variando entre 58.000 a 76.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Portanto, tão importante quanto a população final está a distribuição espacial das plantas ao longo da linha de semeadura.

A utilização de dose variada de população de plantas de milho na agricultura de precisão no Brasil ainda é incipiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste de populações de plantas de milho aos diferentes ambientes da lavoura, utilizando como parâmetro as zonas de manejo, definidas com base em mapa de colheita e pelo conhecimento do produtor em duas áreas comerciais do Rio Grande do Sul.

## 2.4. MATERIAL E MÉTODOS



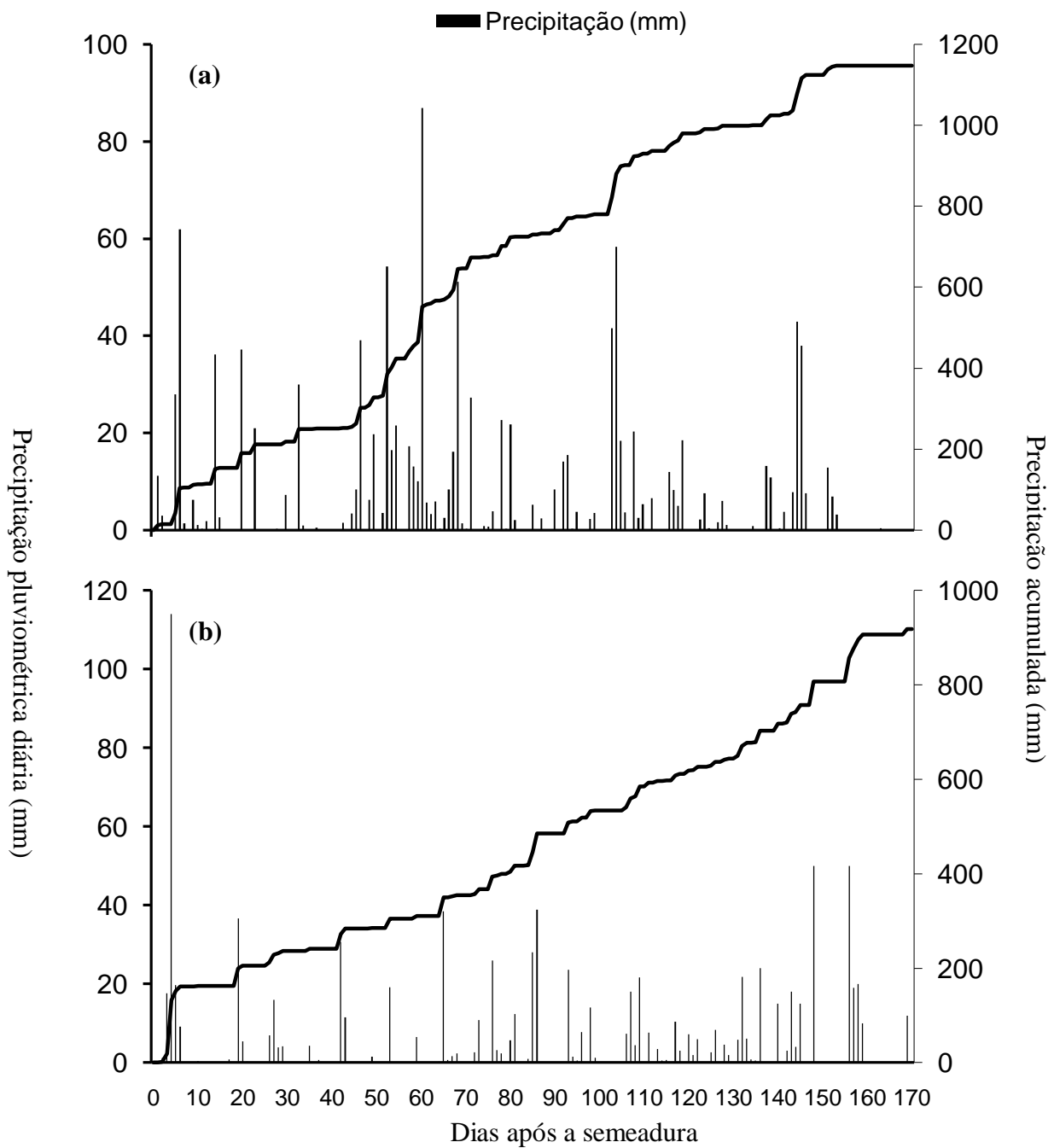
Para realização deste estudo foram escolhidas duas áreas experimentais que vinham sendo manejadas com AP vinculadas ao Projeto Aquarius ([www.ufsm.br/projetoaquarius](http://www.ufsm.br/projetoaquarius)), sendo o trabalho composto por dois experimentos no município de Não-Me-Toque-RS, sendo o experimento 1 (A) na safra 2009/10 e o experimento 2 (B) na safra 2010/11. As áreas experimentais eram próximas entre si, sob coordenadas geográficas: latitude 28°29'3.65"S, longitude 52°51'14,27", (A) e latitude 28°29'3,65"S, longitude 52°51'14,27", (B). As características de relevo eram semelhantes e o solo de ambos os locais é classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical (Nimer, 1989). A temperatura média normal do mês mais quente ocorre em janeiro (24,6 °C) e a do mês mais frio em junho (12,9 °C). As chuvas são distribuídas regularmente em todos os meses do ano, com precipitação anual oscilando entre 1.500 a 1.750 mm. As condições climáticas para os dois experimentos foram adequadas para um bom desenvolvimento da cultura, no entanto no (A) o volume de chuva acumulado foi 21,4% superior, com precipitações mais significativas entre os estádios V4 e V12, período de definição dos componentes de rendimento da cultura (Figura 1).

As áreas experimentais com acompanhamento do Projeto Aquarius se caracterizam pelo uso intensivo de tecnologias, com produtividades na safra 2009/10 superiores à média estadual em 32 e 114% para soja e milho, correspondendo a 3.3 e 10.3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As áreas de estudo vêm sendo conduzidas com SPD permanente 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 antes da cultura do milho.

O híbrido de milho escolhido para o estudo de dose variada de populações de plantas foi o híbrido simples, Pioneer 30F53 yieldgard, por sua representatividade de área semeada no estado do Rio Grande do Sul, sendo semeado no (A) e (B), nos dias 22 e 18 de setembro. Para semeadura a dose variável de sementes foi utilizada a semeadora Victória Control<sup>®</sup>, equipada com o receptor DGPS (Sistema de Posicionamento Global com Sinal Diferencial) Topper 4500<sup>®</sup> que atua também como controlador para AP, sendo capaz de realizar a troca instantânea das doses de aplicação por meio da leitura de um mapa de aplicação (shape file).

O sistema desta semeadora é todo hidráulico sendo a realização das taxas feitas pelo aumento ou diminuição do fluxo de óleo no sistema.

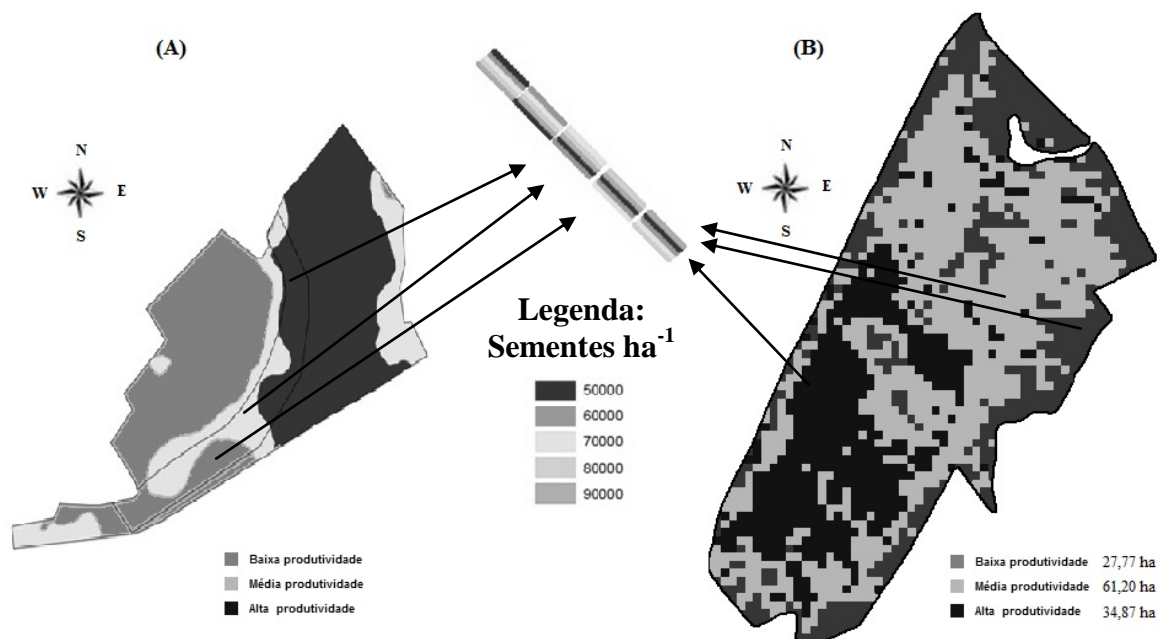


**Figura 1.** Precipitação pluviométrica diária e acumulada observada no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).

As zonas de manejo foram utilizadas como parâmetro para alocar as diferentes populações de plantas em seus respectivos tratamentos conforme proposto por Butzen & Guzenhauser (2010). Para (A), a área experimental de estudo só continha em seu banco de dados monitoramento de rendimento de uma safra, em um ano que as condições climáticas

foram ideais para produção do milho, o que dificultou a constatação da variabilidade espacial da produtividade. Sendo assim, as zonas de manejo foram delimitadas através do conhecimento do histórico de produtividade juntamente com a observação do produtor rural, separando o talhão de estudo em zonas de baixa (ZB), média (ZM) e alta produtividade (ZA). Já para o (B), a definição das zonas de manejo na área seguiu a metodologia proposta por Molin (2002), sendo feita a interpolação dos dados de produtividade, após filtragem, pelo inverso do quadrado da distância e sobreposição de mapas de produtividade acumulados das safras anteriores, com a finalidade de gerar um único mapa normalizado. A separação das zonas foi ZB apresentando produtividade relativa < 95% da produtividade média da lavoura, ZM entre 95-105 e ZA > 105% (Molin, 2002; Santi, 2007). Detalhes deste procedimento, podem ser obtidos em Girardello et al. (2011).

Na Figura 2, observa-se a delimitação das zonas de manejo pela observação do produtor na área de estudo do (A) e a normalização de nove mapas de produtividade acumulados na área de estudo do (B), possuindo um dos maiores conjuntos de dados de mapas de produtividade, sendo uma das áreas pioneiras em AP no Brasil.



**Figura 2.** Distribuição espacial das zonas de manejo na área experimental 1 (A) e distribuição espacial da produtividade de grãos das culturas das nove safras na área experimental 2 (B) e o detalhe do croqui experimental nas zonas de manejo em (A) e (B).

A sobreposição dos mapas consistiu do monitoramento da colheita em duas safras na cultura do milho e em sete na soja, no período de 2002-2010 (Alba, 2012). A colheita das culturas neste período foi realizada com uma colhedora MF 34 equipada com sensor de

produtividade de impacto, instalado no elevador de grãos. O controle do sensor de produtividade foi ajustado através da geração de um fator de correção com o peso de balança em pelo menos cinco ocasiões durante o dia. Detalhes deste procedimento podem ser obtidos em Amado et al., (2007). Após a colheita, os dados foram tabulados, utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2007® e o CR - Campeiro 5 (Giotto, 2004), 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). Os resultados foram expressos com unidade de grãos de 13% e a sobreposição dos mapas de produtividade foi feita através do programa CR - Campeiro 7.

O delineamento experimental utilizado foi um bifatorial disposto na forma de blocos ao acaso com cinco tratamentos e cinco repetições. Cada bloco foi constituído por uma zona de manejo: ZB; ZM e ZA. Cada parcela tinha um comprimento de 50 metros com uma largura de 5,50 m, correspondente a largura da semeadora utilizada de 11 linhas de 50 cm. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de quantidades de sementes: 50.000; 60.000; 70.000; 80.0000 e 90.0000 sementes  $ha^{-1}$ , sendo a pureza e germinação mínima dos lotes de sementes de 97% e 85%. A adubação para os dois anos nas parcelas do experimento consistiu de uma adubação de reposição para produtividade de 10 Mg  $ha^{-1}$ , pelo fato de as áreas do experimento estarem com seu teores de nutrientes no solo dentro da faixa muito alto (COMISSÃO..., 2004). As quantidades utilizadas foram 72 kg  $ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  e 27 kg  $ha^{-1}$  de N na semeadura; 60 kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$  em cobertura. Nos estádio de V4 e V8 foi feito a aplicação em cobertura de 150 kg de N parcelado em duas aplicações de 75 kg de N  $ha^{-1}$ .

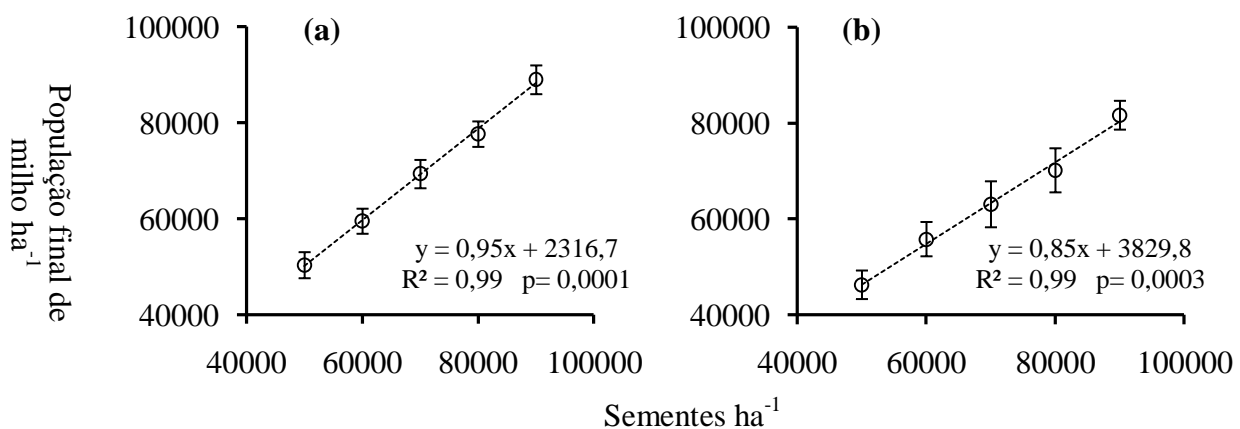
No estádio V6 foi feito a contagem da população de plantas. No (B) acrescentaram-se alguns estudos mais detalhados tais como: avaliação da distribuição de plantas na linha através de seu coeficiente de variação (CV) segundo metodologia descrita por Vieira Júnior et al. (2006) e a relação da distribuição longitudinal de sementes, sendo as classificações: aceitável, falho e duplo. A avaliação do desempenho da semeadora foi baseada na classificação sugerida por Torino e Klingensteiner (1983), a qual considerada como ótimo desempenho à semeadora que distribuir de 90 a 100% das sementes na faixa de espaçamento aceitável, bom desempenho de 75 a 90%, regular de 50 a 75%, e insatisfatório abaixo de 50%. Os dados de produtividade dos tratamentos nos dois estudos foram obtidos através da colhedora MF 9790 equipada com o sistema GTA. Para análise econômica do ajuste das populações de milho às zonas de manejo foi utilizado o preço de venda do milho de R\$ 14,00 e R\$ 24,00 por saca de 60 kg no (A) e (B) e do custo das sementes de R\$380,00 e R\$ 420,00 por sacco contendo 60.000 sementes, para os respectivos experimentos.

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa computacional SISVAR 5.0 (Ferreira, 2010) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Equações de regressão linear e quadrática foram utilizadas para avaliar a relação entre as populações e as zonas de manejo. As análises de regressão foram feitas pelo programa JMP IN versão 3.2.1 (Sall et al., 2005), utilizando-se o teste F ( $p < 0,05$ ).

## 2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### População de plantas planejada e obtida e a distribuição de plantas na linha de semeadura

Um dos pré-requisitos para a utilização da dose variada de sementes é a correta variação da semeadura pela semeadora seguindo um mapa de prescrição. Ainda, a distribuição eficiente das plantas na linha de semeadura afeta a produtividade da cultura do milho (Dourado Neto et al., 2001, Vieira Junior et al., 2004). Para os dois experimentos, a semeadora foi eficiente na obtenção das populações planejadas, sendo o coeficiente de determinação de 0,99 (Figura 3). No (A) o erro médio foi de 1,3% variando de 0,7 a 2,9%, enquanto no (B) foi de 9,4% variando de 7,1 a 12,4%. O incremento do erro médio no segundo experimento justifica-se pelas condições climáticas verificadas após a semeadura, com um volume de chuva elevado neste período, ultrapassando 100 mm em apenas um dia, o que prejudicou a emergência das plantas (Figura 1).



**Figura 3.** Relação entre a quantidade de sementes utilizadas visando obter dose variada e a população final de plantas no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).

Avaliando-se a eficiência da distribuição longitudinal entre as plantas nas diferentes populações no (B) de acordo com a classificação sugerida por Torino & Klingensteiner (1983), a semeadora apresentou desempenho ótimo para as doses de 50, 60, 70 e 80 mil sementes ha<sup>-1</sup> e bom desempenho para a maior taxa de semeadura de 90 mil sementes (Quadro 1).

**Quadro 1. População final e distribuição longitudinal das plantas de milho no experimento 2**

População final de milho	Espaçamento entre plantas			CV
	Aceitável	Falho	Duplo	
	-----% -----			
46.000	94,14	5,11	0,75	11,25
56.000	93,63	5,89	0,48	11,87
64.000	92,50	6,68	0,82	14,50
70.000	90,68	8,18	1,14	16,63
80.000	89,16	9,48	1,36	16,75

CV= coeficiente de variação.

Em relação ao coeficiente de variação (CV) dos espaçamentos entre plantas na linha os valores para os cinco tratamentos variaram de 11,3 a 16,8%, com média de 14,2% (Quadro 1). Esta variável é uma função direta das características da semeadora, além do vigor e germinação da semente (Ohio State University, 2004). Vieira Junior et al (2006), verificaram que a partir de CV=20% a distribuição espacial de plantas afetou negativamente o rendimento do milho. Neste trabalho, os valores de CV ficaram abaixo deste parâmetro. Desse modo a semeadora demonstrou-se eficiente na implementação da dose variada de sementes prescriptas e com satisfatório desempenho na distribuição entre plantas na linha de semeadura.

### **Efeito do ajuste da população de plantas ao ambiente quanto à produtividade e retorno econômico do milho**

A interação entre população de plantas de milho e as zonas de manejo, quanto as análises de produtividade e renda líquida, é apresentada no Quadro 2. Neste Quadro observa-se que a interação foi significativa para os dois estudos. Este resultado indica que, independente do local e do ano agrícola, para cada zona de manejo existiu uma população

ideal (Paszkievicz & Butzen, 2007, Bragachini et al, 2004 Butzen & Guzenhauser, 2010). Fulton et al. (2010) em avaliações iniciais no Alabama reportaram que a população ideal, variou entre as zonas de manejo definidas e que os resultados demonstraram um retorno econômico da dose variada de sementes de milho. Ainda Shanahan et al. (2000) observaram que a determinação da dose variada de populações de milho com base em mapas de produtividade de safras anteriores, foi uma estratégia eficiente de incremento da produtividade da cultura.

**Quadro 2. Análise da variância da produtividade e da renda líquida influenciada pela zonas de manejo e população de milho. Planalto, RS.**

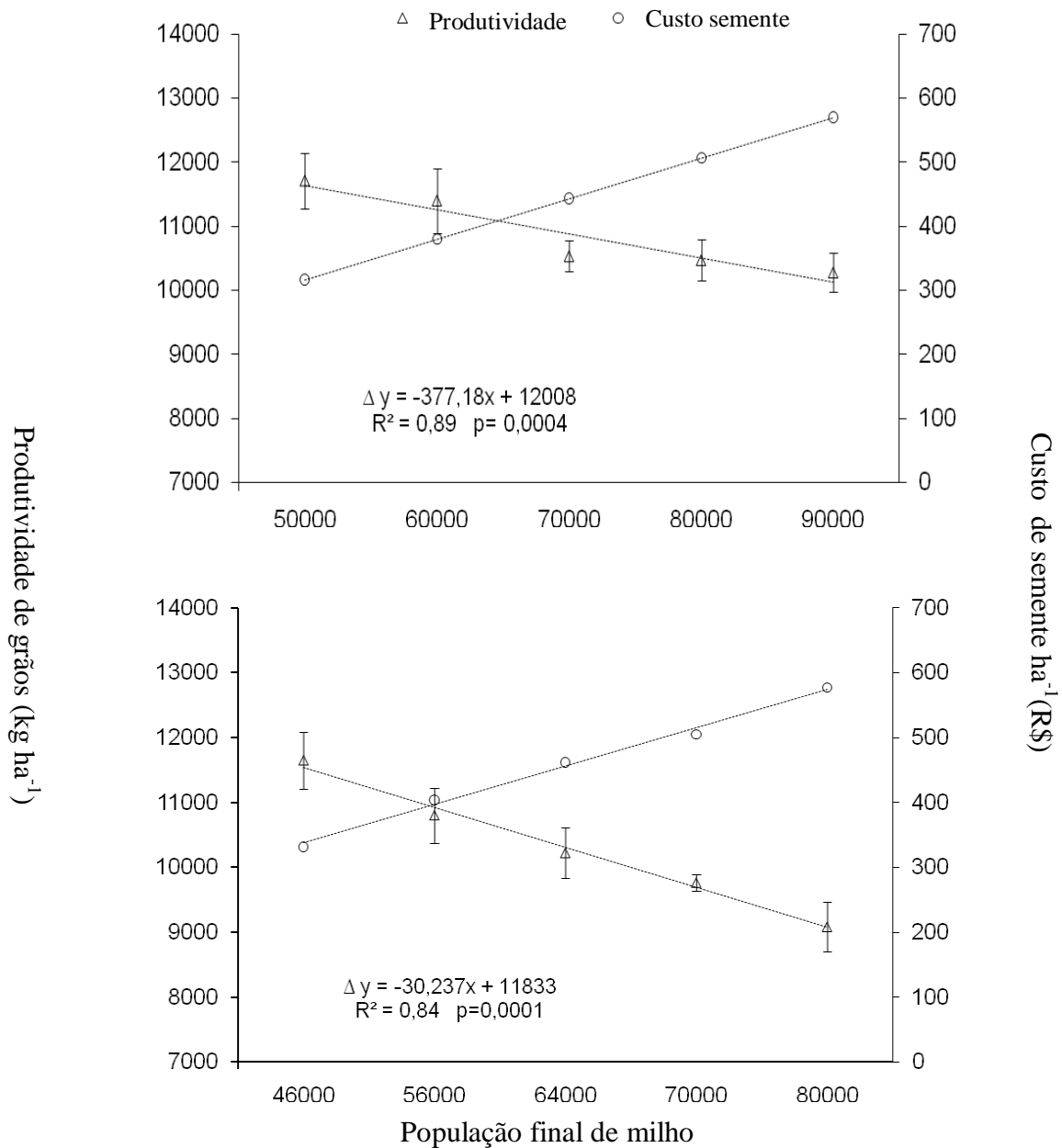
Causas de variação	G.L.	Produtividade		Renda Líquida	
		Experimento 1	Experimento 2	Experimento 1	Experimento 2
ZM	2	**	**	**	**
P	4	n.s	n.s	n.s	**
C.V. (%)		9,62	12,17	11,46	13,56
P x ZM	8	**	**	**	**
C.V.(%)		4,19	3,37	4,99	3,75

<sup>n.s</sup> Não-significativo. <sup>\*\*</sup> Significativo a 1% de probabilidade. ZM= Zonas de Manejo; P= População de plantas de milho; CV= coeficiente de variação

O ajuste da população de plantas de milho às zonas de manejo proporcionou incremento na produtividade quando comparada com a população fixa (70.000 plantas ha<sup>-1</sup>). Na Figura 4 observa-se a produtividade de milho nas diferentes populações avaliadas para os dois experimentos na ZB. Observou-se que em ambos anos de estudo o comportamento foi similar, ocorrendo um decréscimo linear da produtividade com o aumento da população, sendo o coeficiente de determinação elevado nos dois anos. Neste caso, na ZB a diminuição da população de milho para 50.000 e 46.000 plantas ha<sup>-1</sup>, no (A) e (B) respectivamente, resultaram em uma economia em sementes de R\$ 126,00 e 210,00 associados a um incremento no rendimento de 1.2 e 1.9 Mg ha<sup>-1</sup>.

O fato de uma zona de manejo ser enquadrada como de baixo rendimento está associada a uma capacidade produtiva do solo inferior, consequência de alguns atributos específicos neste sítio como, um maior índice de compactação, menor taxa de infiltração de água no solo, maior declividade e menor teor de MOS (Santi, 2007; Amado et al., 2009; Girardello, 2011) e por consequência uma menor capacidade de armazenamento de água (Moore et al., 1993). Essa qualidade do solo inferior na ZB demanda um ajuste na população de milho visando diminuir a competição intraespecífica na cultura (Dourado Neto et al., 2001; Maddoni et al., 2001).

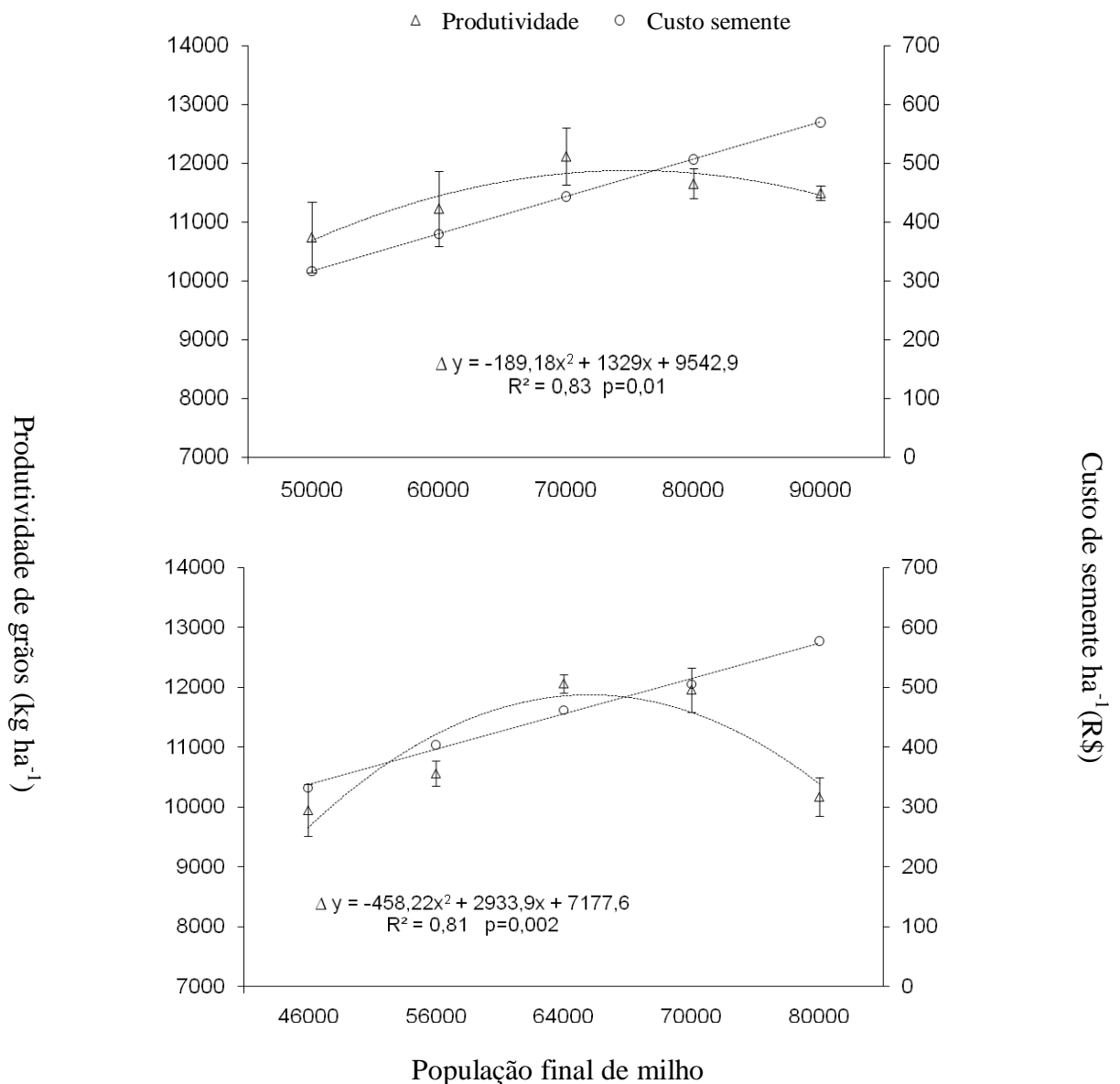
Em estudos conduzidos na América do Norte de 2004 a 2008, populações de plantas entre 40 a 45 mil plantas apresentaram melhores resultados em áreas com baixo potencial produtivo sendo o decréscimo no rendimento linear acima destas populações (Butzen & Guzenhauser, 2010). No Brasil, Duarte & Paterniani (2000) e Fancelli & Dourado Neto (2000) reportaram anteriormente que em áreas sujeitas a déficit hídrico o recomendado seria a diminuição da população para em torno de 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>, de forma análoga no oeste do Kansas, região que apresenta deficit hídrico, a população deveria ser no máximo 45 mil plantas ha<sup>-1</sup> (Norwood, 2001).



**Figura 4. Relação entre população de milho com produtividade de grãos e custo de semente na ZB (a) Experimento 1 e (b) Experimento 2.**



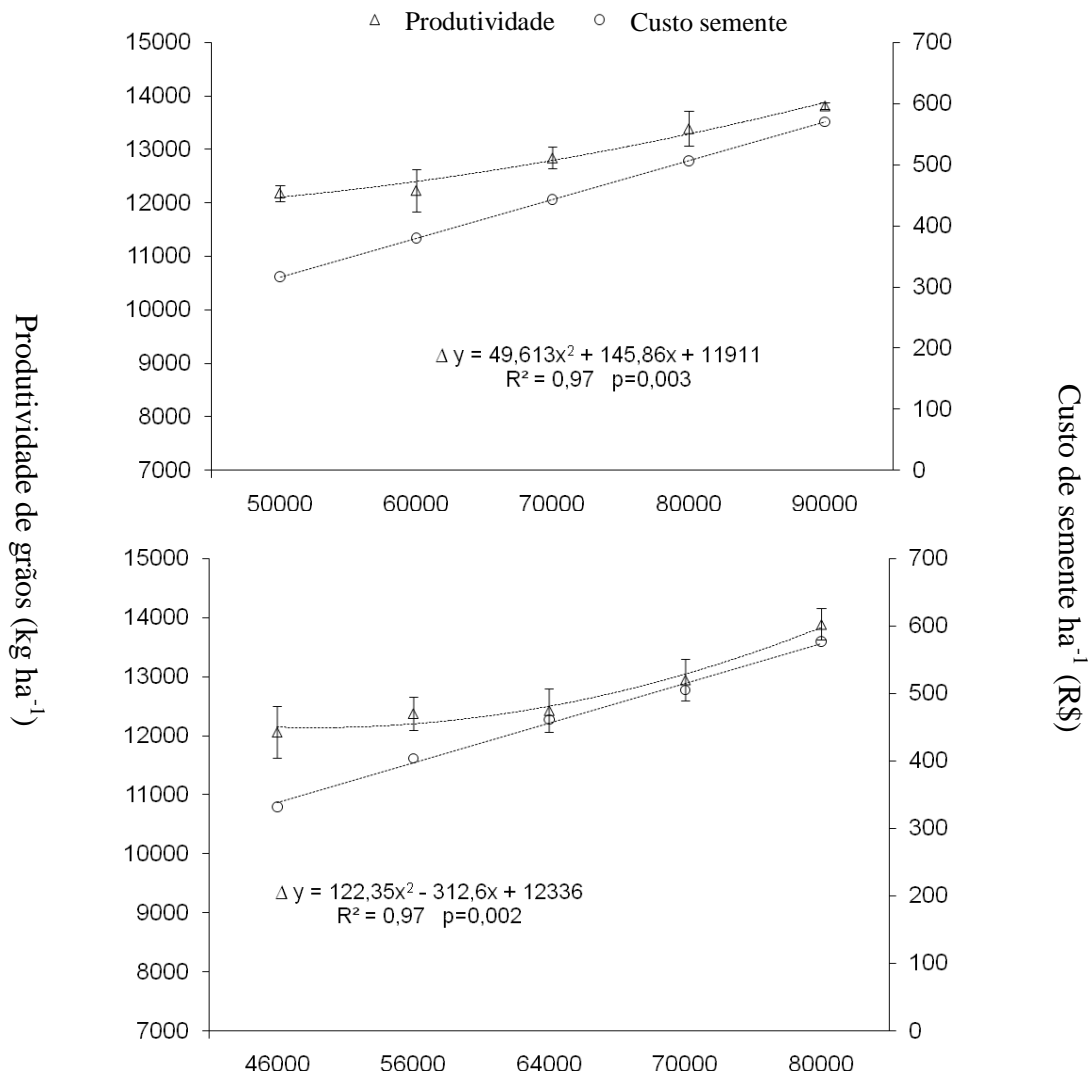
Na ZM (Figura 5) a produtividade respondeu ao aumento da população até 70 e 64 mil plantas no (A) e (B) respectivamente, sendo o ajuste quadrático para os dois experimentos com coeficiente de determinação elevado. Portanto, a partir desta população o rendimento de grãos não é incrementado e o custo da semente continua a subir. Esses resultados corroboram com os encontrados por Butzen & Guzenhauser (2010) para áreas de ZM. A população ótima na ZM ficou dentro da recomendada para o híbrido com utilização de uma população fixa.



**Figura 5. Relação entre população de milho com produtividade de grãos e custo de semente na ZM (a) Experimento 1 e (b) Experimento 2.**

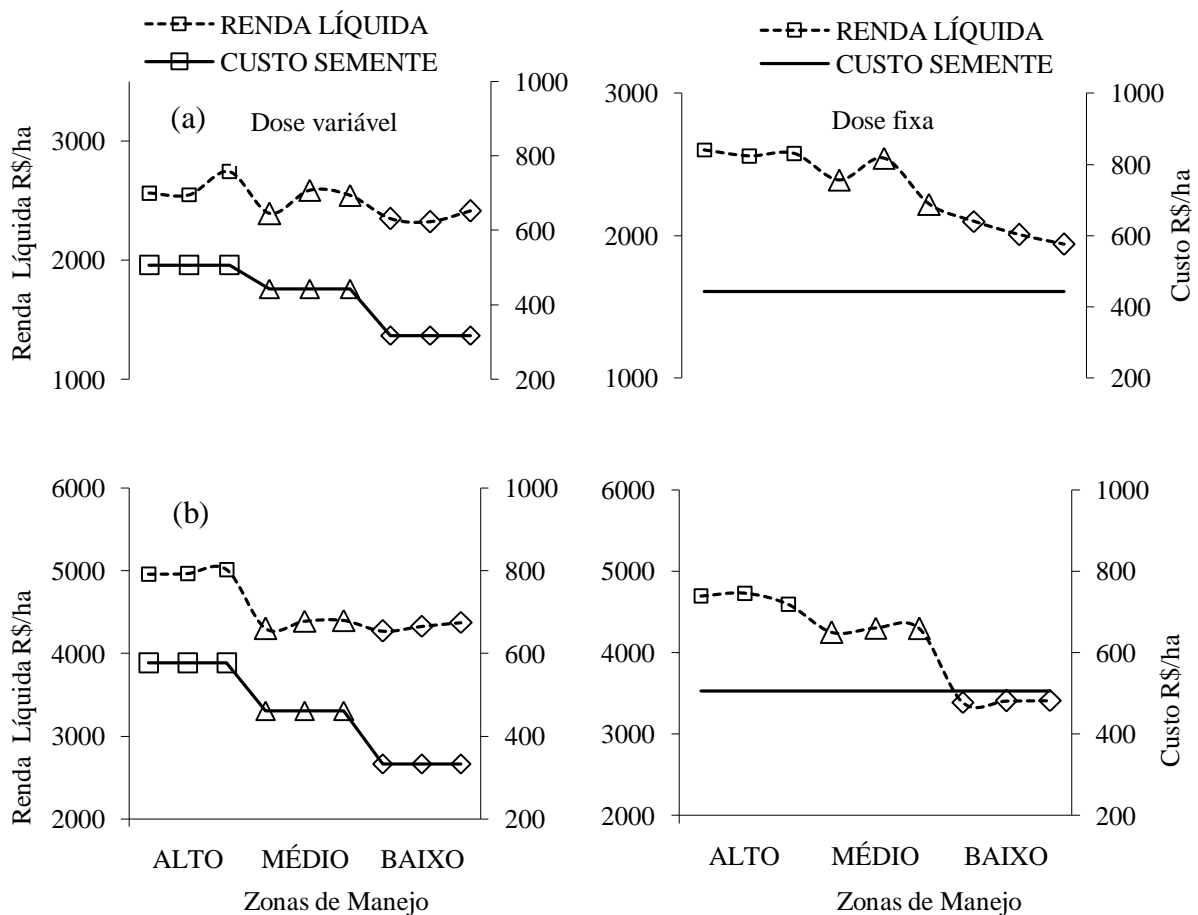
Já no sítio específico com características de solo que suportam altas produtividades (ZA), nos dois experimentos a produtividade da cultura foi otimizada com a maior população

de planta investigada (Figura 6). O aumento no custo de produção através da elevação da densidade de sementes, R\$ 63,40 e R\$ 70,00 foi compensado pela maior produtividade alcançada com 80.000 plantas.ha<sup>-1</sup>, sendo o incremento produtivo de 0,88 e 0,94 Mg ha<sup>-1</sup>, similar ao encontrado anteriormente por Silva et al. (2008) avaliando diferentes populações de plantas em Goiás. Incrementos na produtividade da cultura do milho através do aumento da população de plantas até 80.000 plantas.ha<sup>-1</sup> em ambientes de solo com elevado potencial produtivo tem sido frequentemente reportadas na literatura (Merotto Junior et al., 1997; Sangoi et al., 2002; Peake et al., 2007; Lori Abendroth & Roger Elmore, 2007; Paszkiewicz & Butzen, 2007 e Butzen & Guzenhauser, 2010 ).



**Figura 6. Relação entre população de milho com produtividade de grãos e custo de semente na ZA (a) Experimento 1 e (b) Experimento 2.**

Em ambas as áreas investigadas neste estudo, o solo apresentou três ambientes com distinta resposta a população de plantas, sendo que a consideração desta variável otimiza a produtividade da cultura do milho (Shanahan et al., 2000; Paszkiewicz & Butzen, 2007; Bragachini et al., 2004; Butzen & Guzenhauser, 2010). A análise econômica para as duas áreas experimentais confirmou a viabilidade econômica do ajuste da população de plantas de milho às zonas de manejo (Fulton et al. 2010) quando comparada com a população fixa (70.000 plantas ha<sup>-1</sup>) (Figura 7).



**Figura 7. Incremento econômico com o ajuste das populações a dose variável e a dose fixa no Experimento 1 (a) e no Experimento 2 (b).**

O maior retorno econômico em cada zona de manejo foi alcançado com populações distintas. Bullock et al. (1998) em um amplo estudo na região do cinturão do milho nos EUA, reportaram que a densidade de plantas ótima economicamente variava em função do potencial produtivo da lavoura. Resultados que confirmam o sugerido por Shanahan et al. (2004) que propuseram a gestão da densidade de população de plantas através do manejo sítio específico como uma das eficientes ferramentas da agricultura de precisão.

O ajuste da população de plantas de acordo com a zona de manejo resultou em um incremento econômico no (A) e (B) de 19,80 e 5,56% na ZB e 28,72 e 6,61% na ZA (Figura 7). Este incremento econômico, proporcionado pela variação das populações de plantas, diminuiu a variabilidade econômica do talhão, sendo a lucratividade de uma ZB similar a ZM devido a realização da dose variada de semente. Para os dois experimentos a lucratividade entre as ZB e ZM com as populações ajustadas foram praticamente iguais: R\$ 2.414,00 e 2.435,89; 4.308,64 e R\$4.223,45 para (A) e (B) respectivamente.

Devido a este expressivo resultado realizou-se uma simulação de retorno econômico total com ajuste da população à zonas de manejo para um talhão. Para isso escolheu-se a área do segundo ano de estudo com 124 ha, sendo 22,3 e 34,9% de ZB e ZA (Figura 2B). Com base nos resultados obtidos nestas zonas no segundo experimento, extrapolou-se o ajuste para toda a área, sendo o incremento econômico para esta lavoura, caso o produtor optasse pelo manejo sitio específico das populações de R\$ 37.352,46. Nota-se que 71,5% deste valor é correspondente a ZB, mesmo sendo este sítio menor do que o da ZA, o que demonstra a importância do ajuste da população de planta para o manejo da variabilidade em lavouras de milho. Este resultado suporta a afirmação de Lowenber-De Boer (1999) de que os investimentos para a dose variável de sementes de milho seriam economicamente justificáveis se uma área apresentar ampla variabilidade na produtividade, com no mínimo 10% da área com produtividades inferiores à média.

## **2.6. CONCLUSÕES**

A semeadora utilizada foi eficiente na obtenção das populações prescritas e ainda apresentou um desempenho satisfatório na distribuição espacial entre plantas na linha, viabilizando a utilização da dose variada de plantas de milho.

A utilização de zonas de manejo através do acúmulo de mapas de produtividade foi um eficiente parâmetro visando o ajuste de população de plantas de milho em lavouras comerciais, potencializando a produtividade e o retorno econômico da cultura.

O ajuste da população de milho diminuiu a variabilidade espacial do retorno econômico do talhão nas zonas de baixo rendimento.

## **2.7. LITERATURA CITADA**

ABENDROTH, L. & ELMORE, R. Corn seeding rates and variable-rate seeding. *Integrated Crop Management*, April 9, p. 110-111, 2007

- ALBA, P.J.; AMADO, T.J.C.; GIOTTO, E.; SCHOSSLER, D. & FIORIN, J.E. Agricultura de precisão: Mapas de rendimento e de atributos de solo analisados em três dimensões. Enciclopédia Biosfera-Goiânia, v.7, n.13, p.29-41, 2011
- ALMEIDA, M.L. & SANGOI, L. Aumento da densidade de plantas de milho para regiões de curta estação estival de crescimento. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v.2, n.2, p.179-183, 1996.
- AMADO, T.J.C. & SANTI, A.L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J.E., ed. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, 2007. p.99-144.
- AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A.L. & LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. Revista Plantio Direto, n.89, p.34-42, 2005.
- AMADO, T.J.C.; PES, L.C.; LEMAINSKI, C.L.; & SCHENATO, R.B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com o rendimento de milho e feijão irrigados R. Bras. Ci. Solo, 33:831-843, 2009.
- AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M. & SULZBACH, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 42:1101-1110, 2007.
- BALASTREIRE, L.A.; ELIAS, A.I. & AMARAL, J.R.. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. Revista Engenharia Rural, Piracicaba, v.8, n.1, p.97-111, 1997.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H. & FONTANA, D.C. Associação entre El Nino Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.423-432, 2005.
- BLACKMORE, B.S.; GODWIN, R.J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems Engineering, v.84, p.455-466, 2003.
- BLACKMORE, S. Precision farming: an overview. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, p.86-8,1994.
- BRAGACHINI, M.; BONGIOVANNI, M.; MENDEZ A. & SCARAMUZZA, F. Fertilizacion y densidad de siembra variable. Informe Técnico de divulgación. Disponível em <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Fertilizacion-y-Densidad-Siembra-Variable.asp> Consultado em 15/02/2012, 2004.
- BULLOCK, D.G; BULLOCK, D.S; NAFZIGER, E.D.; DOERGE, T.A.; PASZKIEWICZ, S.R.; CARTER, P.R. & PETERSON, T.A. Does variable rate seeding of corn pay. *Agronomy Journal* 90, 830-836, 1998.

- BUTZEN, S. & GUNZENHAUSER, B. Putting variable-rate seeding to work on your farm. *Crop Insights* Vol. 19, No 15, 2010.
- CAMBOURIS, A.N.; NOLIN, M.C. & SIMARD, R.R. Optimisation of corn seeding rates based on clay content. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: University of Minnesota, 2002. 1 CD-ROM.
- CAMBOURIS, A.N.; NOLIN, M.C. & SIMARD, R.R. Optimisation of corn seeding rates based on clay content. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: University of Minnesota, 2002. 1 CD-ROM.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. & LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) *Milho: tecnologia da produtividade*. Piracicaba: ESALQ, p.120-5, 2001.
- DUARTE, A.P & PATERNIANI, M.E.A.G.Z. Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação IAC/CATI/Empresas – 1999/2000. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 150p, 2000.
- DUDDING, J.P., ROBERT, P.C & BOT, D. Site-specific soybean seed variety management in iron chlorosis inducing soils. In: *Agronomy Abstract (ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA)* p.291, 1995.
- DUVICK, D. N. & CASSAN, K. G. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. *Crop Science, Madison*, v.39, n.6, p.1622- 1630, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FANCELLI, A.L. & DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000.
- FIORIN, J.E.; REINERT, D. J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:249-255, 1997
- FULTON, J.P.; WINSTEAD, A.; SHAW, J.N.; RODEKHOR, D. & BRODBECK, C.J. A case study for variable-rate seeding of corn and cotton in the Tennessee valley of Alabama. In: 10<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, 2010
- GIOTTO, A.; ROBAINA, A.D. & SULZBACH, L. Agricultura de precisão com o sistema CR Campeiro5. Santa Maria: [s.n.], 2004. 330p.

- GIRARDELLO, C.V. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto submetido a escarificação de sítio específico e o rendimento da soja. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2010, 98p. (Dissertação de Mestrado).
- GOERING, C.E. & HANS, S. A field information system for SSCM. In: INTERNATIONAL OFFHIGHWAY & POWERPLANT CONGRESS & EXPOSITION, 1993, Milwaukee. Warrendale: SAE, 1993. 11 p. (SAE Technical Paper Series n. 932422).
- KRAVCHENKO, A.N. & BULLOCK, D.G. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron. J.*, 92:75-83, 2000.
- LOWENBERG-DEBOER, J. Economics of variable rate planting for corn. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. *Proceedings...* Minneapolis: P.C. Robert; R.H. Rust; W.E. Larson, 1998. p.1643-51.
- MADDONI, G.A. Manejo por ambiente: Pautas para el manejo de la variabilidad en maíz. In: 9<sup>no</sup> Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 4<sup>ta</sup> Expo de Máquinas Precisas, Córdoba-Argentina, 2010. 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.
- MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E. & CIRILO, A.G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crops Res.*, Amsterdam, v. 71, p. 183-193, 2001.
- MEROTTO JR.; ALMEIDA, M.L. & FUCKS, O. Aumento do rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.27, n.4, p.549-554, 1997.
- MILANI, L.; SOUZA, E.G. de; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J.A.; PEREIRA, J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.28, p.591-598, 2006.
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. *Engenharia Agrícola*, v.17, p.97-107, 1997.
- MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. *Engenharia Agrícola*, v.22, p.83-92, 2002.
- MOLIN, J.P.; MASCARIN, L.S. & VIEIRA JÚNIOR, P.A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho. *Eng. Agric.*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.528-536, 2006.
- MOLIN, J.P.; VIEIRA JÚNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; FAULIN, G.D.C. & MASCARIN, L. Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. *Rev. Bras. Milho e Sorgo*, v.6, n.3, p.309-324, 2007.

- NETO, F.N.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J. & MOTTA, A.C.V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. Rev. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, v.35, n.03, p.1025-1036, 2011.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1989. 442 p.
- NORWOOD, C.A. Dryland corn in Western Kansas: Effects of hybrid maturity, planting date, and plant population. Agronomy Journal 93, p.540-547, 2001.
- OHIO STATE UNIVERSITY. Corn production. (Bulletin, 472). Disponível em: <http://ohioline.osu.edu/b472/0005.html>, acesso em 10/01/2012, 2004.
- PASZKIEWICZ, S. & BUTZEN, S. Corn hybrid response to plant population. Crop Insights, v. 17, n. 16, 2007
- PEAKE, A, ROBERTSON, M.J. & BIDSTRUP, R. Optimising maize plant population and irrigation strategy on the Darling Downs: a simulation analysis. Australian Journal of Experimental Agriculture. 48: 313–325, 2007
- PEREIRA, F.R.S; CRUZ, S.C.S.; ALBUQUERQUE, A.W.; SANTOS, J.R.; SILVA, E.T.; Arranjo espacial de plantas de milho em sistema plantio direto. R. Bras. Eng. Agric. Ambiental, v.12, n.1, p.69-74, 2008.
- PORTZ, G.; MOLIN, J.P. & JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. Prec. Agric. Published online: 19 August 2011.
- SANGOI, L.; GRACIETTI, M.A.; RAMPAZZO, C. & BIANCHETTI,P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. Field Crops Research, v.79, p.39-51, 2002.
- SANTI, A.L. Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007, Tese (Doutorado)
- SHANAHAN, J.; DOERGE, T.; SNYDER, C.; LUCHIARI JUNIOR, A. & JOHNSON, J. Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: University of Minnesota, 2000. 1 CD-ROM.
- SHANAHAN, J.F.; DOERGE, T.A.; JOHNSON, J.J. & VIGIL, M.F. Feasibility of site-specific management of corn hybrids and plant densities in the Great Plains. Precision Agriculture. 5(3) p.207-225, 2004.
- TOLLENAAR, M & WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. Crop Science, Madison, v.39, n.6, p.1597-1604, 1999.



- TOLLENAAR, M. & LEE, E. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.75, n.1, p.161-169. 2002.
- TORINO, M.C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadoras-adubadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 13., Rio de Janeiro, 1983. *Anais*. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1983. v.2, p.103-116.
- VIEIRA JUNIOR, P.A. Milho. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (Ed.). *Ecofisiologia dos cultivos anuais*. São Paulo: Nobel, p. 41-72, 1999.
- VIEIRA JUNIOR, P.A.; MOLIN, J.P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.; MASCARIN, L.S.; FAULIN, G.C. & DETOMINI, E.R. Relação entre população, distribuição espacial de plantas, atributos do solo e rendimento de grãos de milho. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 1., 2004, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2004. 1 CD-ROM.
- VIEIRA JÚNIOR, 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 Sci. Agron.* V.28, n.4, p.483-492, 2006.

### **3. ARTIGO II – Absorção do nitrogênio influenciada pelo ajuste da população de milho à zonas de manejo na agricultura de precisão <sup>(2)</sup>**

#### **3.1. RESUMO**

A agricultura de precisão (AP) baseia-se em intervenções sítio-específico, de acordo com a variabilidade espacial dos fatores produtivos. Recentemente tem sido investigado o manejo sítio específico da população de planta de milho em função da variabilidade do potencial produtivo em um talhão. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da absorção do nitrogênio pelo ajuste da população de milho utilizando como parâmetro, zonas de manejo. Para tanto, o trabalho foi conduzido no município de Não-Me-Toque-RS, sendo as zonas de manejo delimitadas através do acúmulo de nove mapas de produtividade normalizados (sete safras de soja + duas de milho), que foram sobrepostos gerando três zonas de manejo. As zonas foram classificadas ZB apresentando produtividade relativa < 95% da produtividade média da lavoura, ZM entre 95-105 e ZA > 105%. O experimento foi um bifatorial com cinco taxas de semeadura variando de 50.000 a 90.000 sementes ha<sup>-1</sup> constituído de três zonas de manejo (ZB, ZM e ZA), sob Latossolo Vermelho Distrófico típico. Para avaliar o efeito do ajuste da população de milho às zonas de manejo e sua relação com a demanda de N pela cultura, utilizou-se como parâmetro as leituras com clorofilômetro e N na massa seca na floração plena da cultura. O aumento da população de milho na ZB ocasionou um decréscimo de 49% para as avaliações de clorofilômetro, 44% para o N absorvido e de até 52% na produtividade quando comparado a ZA. O ajuste da população de planta de acordo com as zonas de manejo, reduzindo a população para 46.000 plantas ha<sup>-1</sup> na ZB e incrementando-a para 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> na ZA resultou em um incremento na produtividade de 19,20 e 7,20% nas ZB e ZA respectivamente, associados a um melhor aproveitamento do N fertilizante, sendo o incremento do N absorvido pelo milho de 8,40 e 15% nas ZB e ZA quando comparado a população fixa de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

**Termos de indexação: manejo sítio-específico; taxa variada, zea mays**

---

<sup>2</sup> Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo

### **3.2. SUMMARY: ABSORPTION OF NITROGEN INFLUENCED BY SETTING OF THE MAIZE POPULATION MANAGEMENT ZONES IN PRECISION AGRICULTURE**

Precision agriculture (PA) is based on site-specific interventions, according to the spatial variability of productive factors. It has been recently investigated site specific management of corn plant population due to the variability of productive potential in a field. In this sense, the objective of this study was to evaluate the absorption of nitrogen by adjusting the maize population using the parameter, management zones. To this end, work was conducted in the Non-Touch-Me-RS, and the management zones defined by the accumulation of nine standardized yield maps (seven + two soybean crops of corn), which were generating three overlapping areas management. The areas were classified relative productivity ZB presenting <95% of the average productivity of the crop, ZM between 95-105 and ZA > 105%. The experiment was a factorial with five seeding rates ranging from 50,000 to 90,000 seeds ha<sup>-1</sup> consists of three management zones (ZB, ZM and ZA), under typical Dystrophic Red Latosol. To evaluate the effect of the adjustment of the maize population management zones and their relation to the demand of N by the crop was used as a parameter readings with chlorophyll and N in dry matter in full flowering of culture. The population increase in maize ZB caused a decrease of 49% for the evaluation of chlorophyll, 44% for N uptake and up to 52% in productivity compared to ZA. The adjustment of the population of plant according to the handling zones, reducing the population to 46,000 ha<sup>-1</sup> in plants ZB and increasing it to 80 000 ha<sup>-1</sup> in plants ZA resulted in an increase in yield of 19.20 and 7, 20% in ZA and ZB, respectively, associated with a better use of N fertilizer, and the increase in N uptake by corn of 8.40 and 15% in ZA and ZB when compared to fixed population of 70,000 plants ha<sup>-1</sup>.

### **3.3. INTRODUÇÃO**

O nitrogênio (N) é o nutriente demandado em maior quantidade pela cultura do milho, sendo a insuficiência no seu suprimento um dos mais frequentes fatores limitantes a obtenção de elevadas produtividades. Em média para cada tonelada de grãos produzida são necessários 20 kg ha<sup>-1</sup> de N (Fancelli, 2000). 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, apresentando uma elevada variação espacial e temporal quanto a sua disponibilidade no solo (Casa et al., 2011). Atualmente, no Rio Grande do Sul os teores de MOS, a cultura anterior e a expectativa de produtividade do milho tem sido utilizados como parâmetro para a recomendação de adubação nitrogenada na cultura do milho (Amado et al., 2002), sendo reportados na literatura que a máxima eficiência econômica tem sido obtida com quantidades entre 150 a 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, para produtividades de 10 Mg ha<sup>-1</sup> (Pavinato et al., 2008; Fontoura & Bayer, 2009).

A amplitude de resposta a adubação nitrogenada reflete a complexa interação de fatores bióticos e abióticos que influenciam a dinâmica do N no solo, como destaque a variabilidade temporal de precipitação, insolação e temperatura (Fiorin et al., 1997), a variabilidade espacial de atributos de solo, como MOS (Amado et al., 2009) profundidade do horizonte superficial (Albuquerque et al., 1995) e a capacidade de armazenamento da água (Delin & Berglund, 2005; Santi, 2007) que combinados determinam o potencial produtivo (Molin, 2002, Blackmore et al., 2003; Amado et al., 2007). Neste sentido adubações em dose fixa de N, levando em consideração condições médias de um talhão podem levar a sub ou superfertilização, contribuindo para a baixa eficiência da adubação (Bredemeier & Schmidhalter 2005; Raun et al., 2011) e resultando em variações na produtividade ao longo do talhão de até 50% (Kitchen et al., 1995).

A agricultura de precisão (AP) considera a variabilidade espacial dos fatores produtivos como base para o manejo sítio-específico que prescreve intervenções em função da necessidade específica de cada local (Pierce & Nowak, 1999). Com isso a aplicação de fertilizantes à dose variável pode contribuir para aumentar a eficiência da adubação (Dampney & Moore, 1998), otimizando os recursos disponíveis (Blackmore, 1994). O N destaca-se como um dos nutrientes com mais elevada probabilidade de resposta ao manejo de dose variada de fertilização (Bongiovanni, 2002; Raun et al., 2010). Deste modo é necessária a identificação de sítios no talhão que apresentam diferentes curvas de resposta a adubação nitrogenada, fato que permitiria o ajuste da dose de adubação e proporcionaria o incremento na eficiência da adubação do N (Snyder et al., 1999; Ruffo, 2003; Bragachini et al., 2004; Melchiori et al., 2011).

Para identificação de zonas com potencial produtivo distintos em um talhão, Molin (2002) sugeriu a utilização de mapas de produtividade, sendo esta técnica frequentemente utilizada para decisões referentes a manejo localizado (Amado et al., 2007). Recentemente, o ajuste da população de milho em função da variabilidade do potencial produtivo em um

talhão, tem sido investigado (Bullock et al., 1998; Cambouris et al., 2002; Shanahan et al., 2004; Butzen & Guzenhauser, 2010). Assim, o uso de insumos (população de plantas e fertilizantes) são ajustados ao potencial produtivo de zonas homogêneas do talhão. Na Argentina esta estratégia é definida como agricultura por ambiente (Maddoni, 2010).

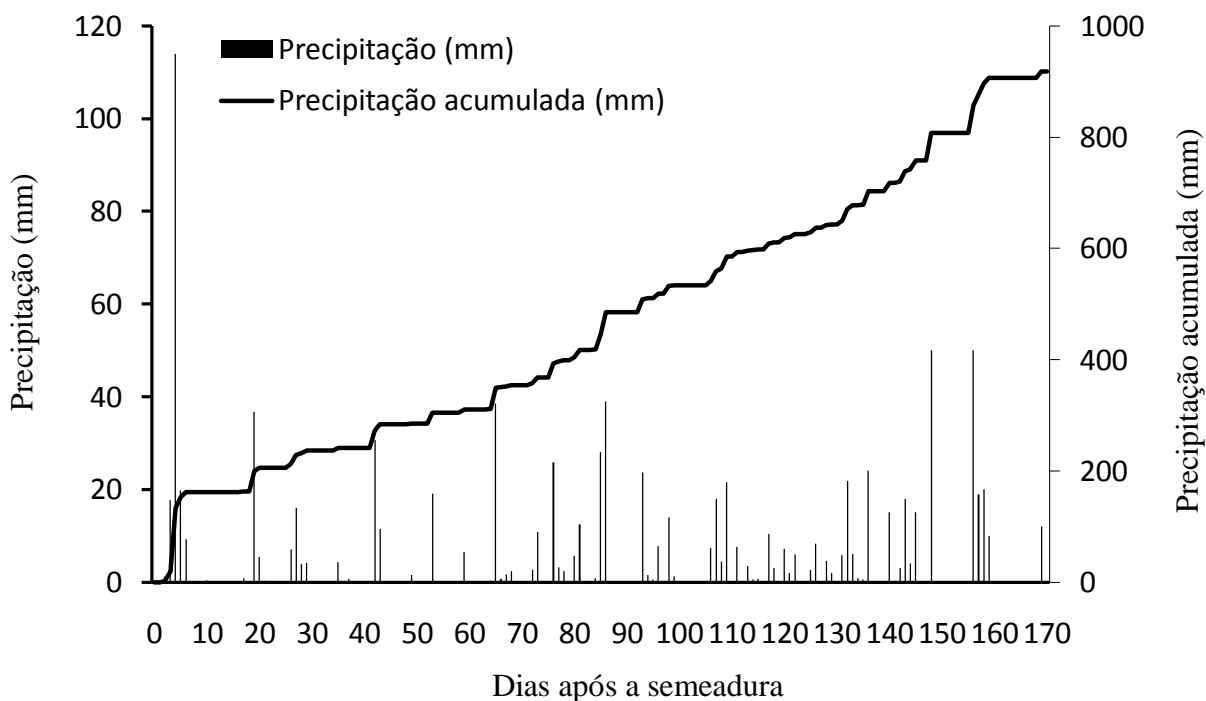
A utilização de dose variada de população de plantas de milho e sua relação com a demanda de N ainda é desconhecida no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do ajuste de populações de milho as zonas de manejo, definidas com base em mapa de colheita, na produtividade e sua relação com a demanda de N pela cultura.

### 3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo foi escolhido uma área comercial não irrigada que vinha sendo manejada dentro de um ciclo completo de AP, vinculada ao Projeto Aquarius ([www.ufsm.br/projetoaquarius](http://www.ufsm.br/projetoaquarius)), no município de Não-Me-Toque-RS, sob coordenadas geográficas: Latitude 28°29'3,65"S, Longitude 52°51'14,27". O solo do local é classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006), com relevo suavemente ondulado e textura argilosa.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical (Nimer, 1989). A temperatura média normal do mês mais quente (janeiro) é de 24,6 °C e a do mês mais frio (junho) é de 12,9 °C. As chuvas são distribuídas regularmente em todos os meses do ano, com precipitação anual oscilando entre 1.500 a 1.750 mm. As condições climáticas para o ano de estudo foram adequadas para um satisfatório desenvolvimento da cultura, com as precipitações equilibradamente distribuídas no decorrer dos estádios fenológicos da cultura (Figura 1).

As áreas agrícolas com acompanhamento do Projeto Aquarius se caracterizam pelo uso intensivo de tecnologias com produtividades que na safra 2009/10 foram superiores à média estadual em 32 e 114% para soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e milho (*Zea mays* L.), correspondendo a 3.300 e 10.320 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As áreas de estudo vêm sendo conduzidas com SPD permanente de longa duração, tendo como principais culturas comerciais, durante a safra de verão, a soja e o milho. 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.).



**Figura 1. Distribuição diária da precipitação pluviométrica relacionada com a precipitação acumulada durante o ciclo da cultura do milho na safra 2010-2011.**

A cultivar de milho escolhida para este estudo foi o híbrido simples, Pioneer 30F53 yieldgard, por sua representatividade na área plantada no estado do Rio Grande do Sul, sendo semeado no dia 18 de setembro de 2010. Para implantar o experimento de população de plantas utilizou-se a dose variável de sementes com a semeadora Victória Control<sup>®</sup>, equipada com o receptor DGPS (Sistema de Posicionamento Global com Sinal Diferencial) Topper 4500<sup>®</sup> que atuou como controlador, sendo capaz de realizar a troca automática das doses de sementes de acordo com o mapa de prescrição. O sistema desta semeadora é hidráulico sendo a realização das doses feita pelo aumento ou diminuição do fluxo de óleo.

A resposta à população de plantas foi investigada em zonas de manejo conforme proposto por Butzen & Guzenhauser (2010). Dessa forma a definição das zonas de manejo na área seguiu a metodologia proposta por Molin (2002), sendo feita a interpolação pelo inverso do quadrado e sobreposição de mapas de produtividade acumulados de nove safras anteriores, com a finalidade de gerar um único mapa normalizado. A separação das zonas foi em baixa (ZB), média (ZM) e alta produtividade (ZA), apresentando produtividade relativa < 95, 95-105 e > 105%, respectivamente, da produtividade média da lavoura (Molin, 2002; Santi, 2007). Detalhes deste procedimento podem ser obtidos em Girardello et al. (2011).

Na Figura 2 é apresentado o mapa de produtividade acumulado na área de estudo.



**Figura 2. Distribuição espacial da produtividade de grãos das culturas das nove safras.**

A sobreposição dos mapas consistiu do monitoramento do rendimento de duas safras na cultura do milho e em sete na soja, no período de 2002 a 2010 (Alba, 2012). A colheita das culturas neste período foi realizada com uma colhedora MF 34 equipada com sensor de produtividade de impacto, instalado no elevador de grãos. O controle do sensor de produtividade foi ajustado através da geração de um fator de correção com o peso de balança em pelo menos cinco ocasiões por dia de trabalho. Detalhes deste procedimento podem ser obtidos em Amado et al. (2007). Após cada colheita, os dados obtidos foram tabulados, utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2007® e o CR - Campeiro 5 (Giotto, 2004), visando eliminar 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). Os resultados foram expressos com umidade de grãos de 13% e a sobreposição dos mapas de produtividade foi feita através do programa CR - Campeiro 7.

O delineamento experimental utilizado foi um bifatorial disposto na forma de blocos ao acaso com cinco tratamentos e cinco repetições. Cada bloco foi constituído por uma zona de manejo: ZB; ZM e ZA. Cada parcela tinha um comprimento de 50 metros com uma largura de 5,50 m, correspondente a largura da semeadora utilizada de 11 linhas de 50 cm. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de quantidades de semente: 50.000; 60.000; 70.000; 80.000 e 90.000 sementes ha<sup>-1</sup>, sendo a pureza e germinação mínima dos lotes de sementes de 97% e 85% respectivamente. No estágio V6 foi feita a contagem da população de plantas, sendo a população final nos tratamentos 46.000; 56.000; 64.000; 70.000 e 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

A adubação nas parcelas do experimento consistiu de uma adubação de reposição para rendimento alvo de 10 Mg ha<sup>-1</sup>, uma vez que a área do experimento apresentava teores de nutrientes no solo (Quadro 1) dentro da faixa muito alto (COMISSÃO...2004). As quantidades de fertilizante 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 semeadura; 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em cobertura. Nos estádios de V4 e V8 foi feita a aplicação em cobertura de 150 kg de N parcelado em duas aplicações de 75 kg de N ha<sup>-1</sup>.

**Quadro 1. Principais características dos atributos de solos investigados no início do experimento na camada de 0-0,10 m, por zona de manejo.**

Variável	Zonas Manejo	Valores Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação %
Matéria orgânica (%)	ZB <sup>1</sup>	3,26	3,55	3,41	0,06	1,76
	ZM <sup>2</sup>	3,03	3,18	3,11	0,03	0,96
	ZA <sup>3</sup>	3,35	3,94	3,70	0,10	2,84
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	ZB	15,00	22,90	18,43	2,09	11,36
	ZM	15,70	25,80	21,75	2,73	12,57
	ZA	24,00	31,18	27,52	1,74	6,31
Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	ZB	267,20	304,00	287,75	9,11	3,17
	ZM	244,42	286,01	266,58	10,14	3,80
	ZA	281,00	354,47	314,80	18,43	5,85
pH H <sub>2</sub> O (1:1)	ZB	5,40	5,80	5,60	0,09	1,56
	ZM	5,40	5,80	5,50	0,10	1,85
	ZA	5,20	5,40	5,30	0,04	0,78

<sup>1</sup>Zona de baixo; <sup>2</sup>Zona de média e <sup>3</sup>Zona de alto rendimento.

No estágio de floração plena foram coletados 5 plantas por parcela para determinação da matéria seca (MS), que posteriormente foram secas em estufa a 65° C até peso constante.



Após essa etapa, as plantas foram trituradas em um moedor de tecido vegetal, sendo retirada uma amostra para determinação de N no tecido seguindo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). As leituras com clorofilômetro manual (SPAD – 502<sup>®</sup>, MINOLTA) foram realizadas nos mesmos pontos amostrais da MS, em três plantas, na folha oposta abaixo da espiga para os estádios de desenvolvimento reprodutivos. Dessa forma, foi estabelecida a média de três leituras para cada folha (terço inferior, terço médio e terço superior da folha) seguindo metodologia descrita por Argenta (2001).

Os dados de rendimento dos tratamentos investigados no experimento foram obtidos através da colhedora MF 9790 equipada com eletrônica e sensores de agricultura de precisão. Os componentes de rendimento, número de grãos e peso de 1000 grãos, foram determinados através de coleta manual de espigas em 1m<sup>2</sup> em cada parcela. As avaliações que envolveram pesagem de grãos foram corrigidas para 13% de umidade. Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa computacional SISVAR 5.0 (Ferreira, 2010) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). Equações de regressão linear e quadrática foram utilizadas para avaliar a relação entre as populações e as zonas de manejo. As análises de regressão foram feitas pelo programa JMP IN versão 3.2.1 (Sall et al., 2005), utilizando-se o teste F (p<0,05).

### 3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou a existência de interação entre população de milho e as zonas de manejo para os parâmetros utilizados na avaliação da nutrição de plantas com N e para os componentes de rendimento (Quadro 2.).

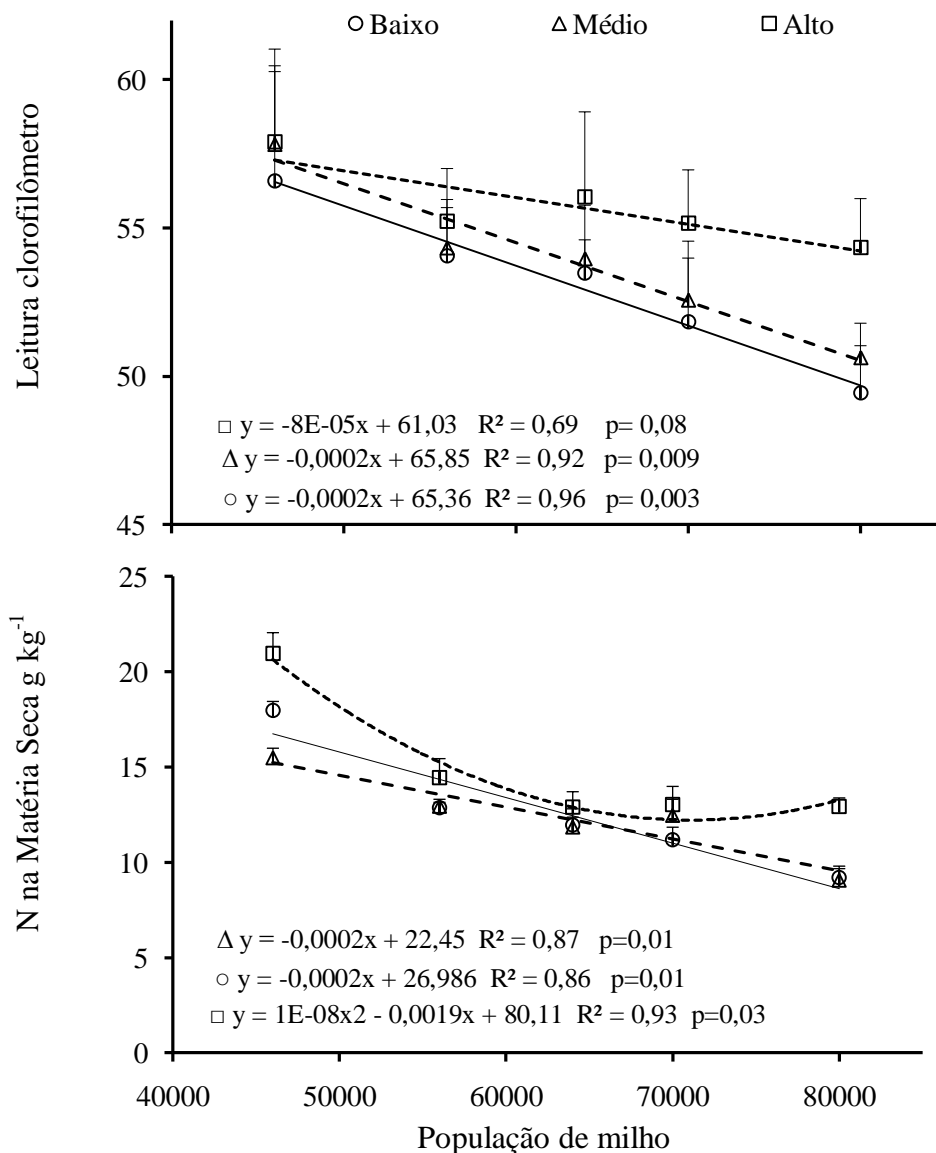
**Quadro 2. Análise de variância dos parâmetros de planta e componentes de rendimento da cultura do milho.**

Causas de variação	G.L.	Nº fileiras	Atributos da cultura				
			Grãos/fileira	Peso 1000 grãos	Nº grãos	N - MS	SPAD
Safrá 2010-2011							
ZM	2	n.s	**	**	**	n.s	**
C.V. (%)		3,66	10,69	6,74	9,46	22,04	5,60
P	4	**	**	**	**	**	**
ZM x P	8	**	**	**	**	**	**
C.V.(%)		2,94	4,67	4,24	5,30	6,60	4,21

<sup>n.s</sup> Não-significativo. <sup>\*\*</sup> Significativo a 1% de significância. ZM= Zonas de Manejo; P= População de plantas de milho; CV= coeficiente de variação GL= ; N= ; N-MS= ; SPAD

Butzen & Guzenhauser, 2010 encontraram diferentes populações para cada zona de manejo e estas alterações na população demandaram um ajuste da adubação nitrogenada para uma maior eficiência da adubação nitrogenada (Bragachini et al., 2004). Diferentemente do clorofilômetro, não ocorreu interação para o N na MS quando avaliado apenas as zonas de manejo, sendo que a análise pelo clorofilômetro manual pode servir para eventuais adubações nitrogenadas diferenciadas na cultura do milho quando associada com os mapas de rendimento (Hurtado et al., 2009).

O incremento da população de milho influenciou a absorção do N pelas plantas resultando em menores valores de N na MS e nos índices de clorofila determinados pelo clorofilômetro manual no florescimento pleno da cultura, independente da zona de manejo investigada (Figura 3).



**Figura 3. Relação entre população de milho com a leitura do clorofilômetro e N na MS do milho nas zonas de manejo**

Para as avaliações de clorofila o aumento da população de milho ocasionou um decréscimo linear nas leituras do clorofilômetro na planta para as três zonas de manejo, sendo que o decréscimo na ZB e ZM foi 49% maior do que na ZA, estando estes resultados relacionados a maior competição entre plantas nestes sítios. Confirmando esta tendência, os teores de N na MS também tiveram um decréscimo linear com o aumento da população de plantas nas ZB e ZM, constatando-se que para cada incremento de 10.000 plantas na população de milho houve um decréscimo de 0,18 e 0,13% de N na MS, para a ZB e ZM respectivamente. Neste caso, o efeito da população no decréscimo de N absorvido foi 44% maior para essas zonas de manejo do que para a ZA. Para a ZA o comportamento da curva foi quadrático, com uma redução dos teores de N na planta até 64.000 plantas, estabilizando-se a partir disso.

Na Figura 4 é apresentado o efeito da população no rendimento do milho. As três zonas apresentaram comportamento distinto.

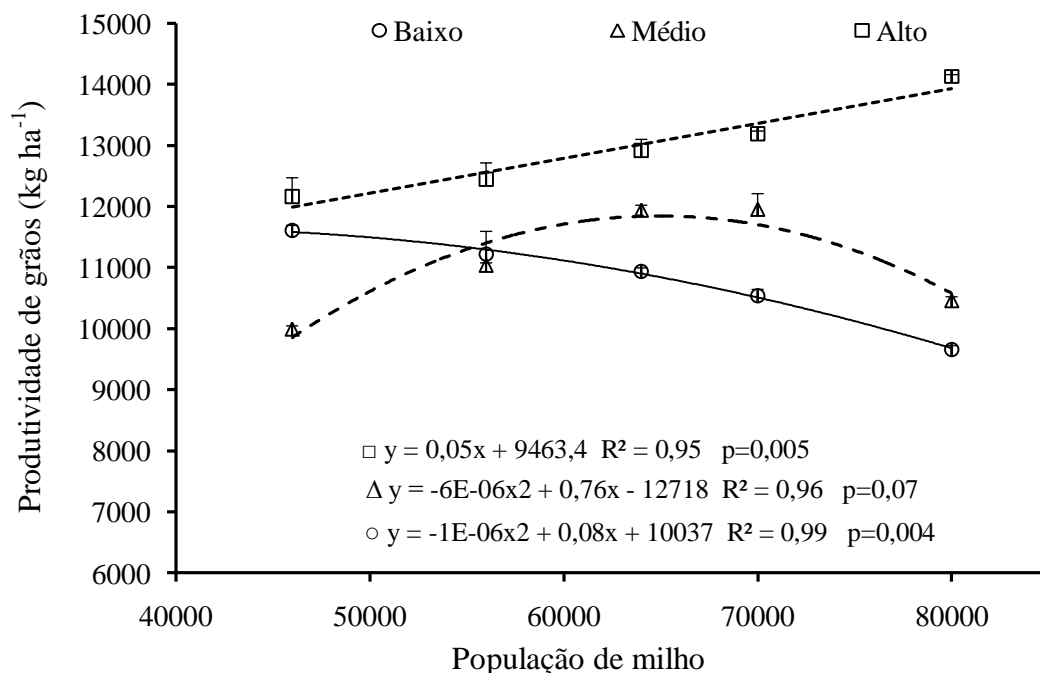


Figura 4. Relação entre população de milho e produtividade de grãos nas zonas de manejo

Na ZA o incremento da população foi acompanhado pelo aumento do rendimento. Na ZM o incremento da população proporcionou aumento do rendimento até 64.000 plantas ha<sup>-1</sup>, a partir daí verificou-se um decréscimo. Já na ZB, a relação do rendimento com a população foi inverso. O rendimento da cultura com a população de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup> apresentou um

acúmulo de N na MS da cultura semelhante para as três zonas de manejo (Figura 3), porém com rendimentos distintos entre as zonas de manejo (Figura 4).

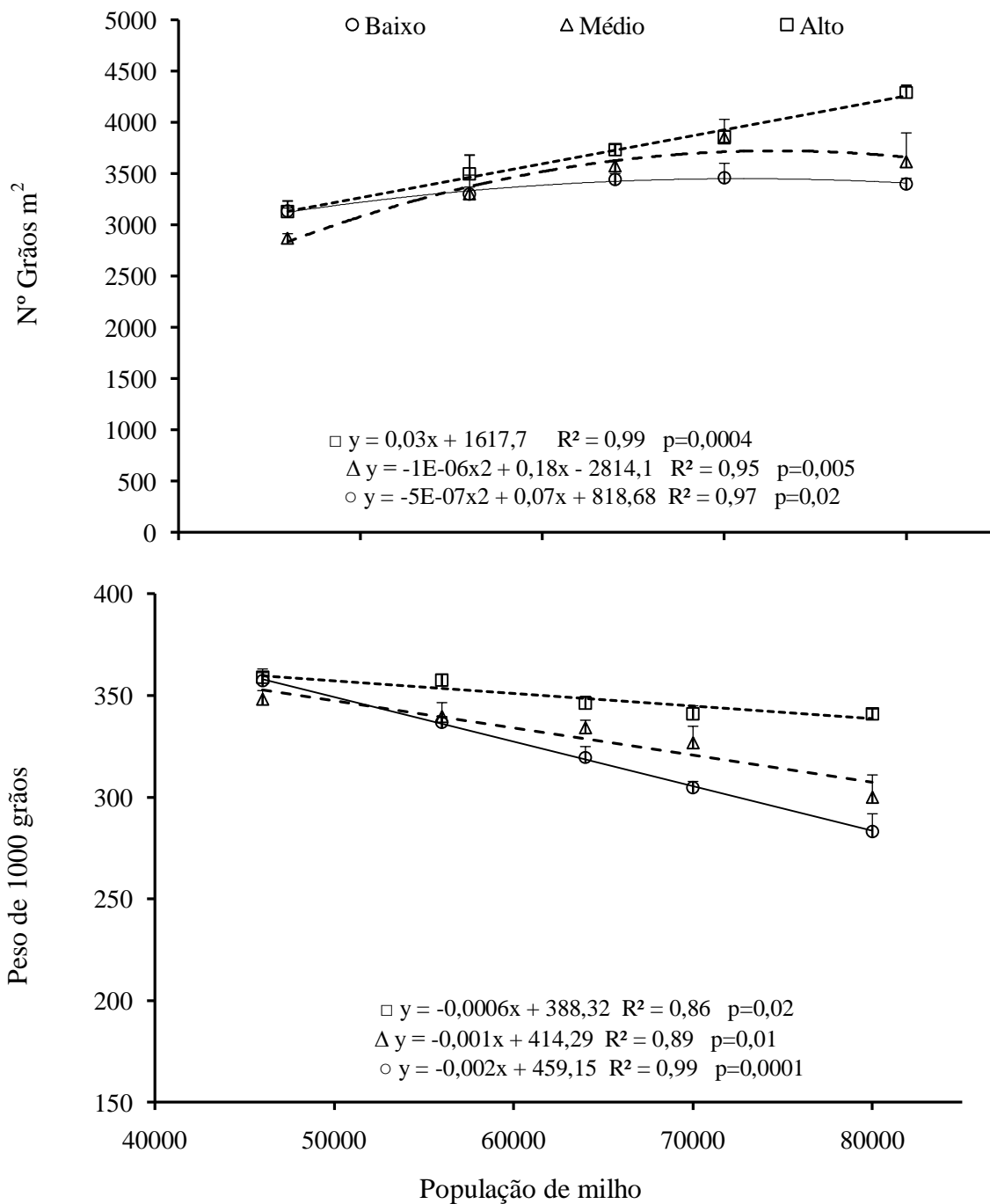
Neste caso infere-se que o fator limitante possa ter sido a disponibilidade de água no solo, pois o rendimento na ZA foi 32,60 e 8,30% maior do que na ZB e ZM, respectivamente, com pequena diferença nos teores de MOS entre as zonas (Quadro 1) e com a mesma adubação nitrogenada. Anteriormente, Fiorin et al. (1997) reportaram uma relação direta da produção do milho com o armazenamento de água no solo. Ainda, em um estudo, avaliando duas propriedades rurais no Rio Grande do Sul, manejadas com ferramentas de AP, com características de clima e solo similares a da área de estudo, Santi (2007) encontrou uma superioridade na taxa de infiltração acumulada para a ZA de 113 a 213% em relação a ZB, confirmando a existência de variabilidade espacial na infiltração da água e por consequência de seu armazenamento no solo (Siqueira et al., 2006 e Vieira et al., 2006).

Ambientes produtivos distintos também foram associados a diferenças no conteúdo de água no início da estação de crescimento das culturas em estudo conduzido na região de Córdoba-Argentina. Com isto, os maiores rendimentos de milho nas ZA em relação a ZB foram associados a maior disponibilidade de água no solo (Gregorete et al., 2006). Já, Zubillaga et al., (2006) associaram os sítios de maior rendimento com a maior disponibilidade de N do solo as plantas. Em condições de sequeiro a disponibilidade de água no solo, além de afetar diretamente o rendimento da cultura, tem influência indireta no ciclo do N no solo, de modo que a umidade afeta a mineralização do N orgânico e o suprimento do nutriente as plantas por fluxo de massa.

Analisando-se o desempenho da maior população (80.000 plantas ha<sup>-1</sup>) nas zonas de manejo, o acúmulo de N na MS foi 40% maior na ZA em relação a ZB e ZM, respectivamente. Este maior acúmulo de N na fitomassa foi acompanhado de um incremento no rendimento de 52,90 e 36,60% em relação a ZB e ZM, respectivamente. Os resultados provavelmente evidenciam a existência de competição intraespecífica de plantas nestas zonas e, portanto, a necessidade de um ajuste na população devido às diferenças de oferta ambiental (Dourado Neto et al., 2001; Maddoni et al., 2001). De modo que, ajustando-se a população para 46.000 plantas ha<sup>-1</sup> na ZB, diminuiu-se a competição intraespecífica, proporcionou-se um maior acúmulo de N na MS e um maior rendimento de grãos.

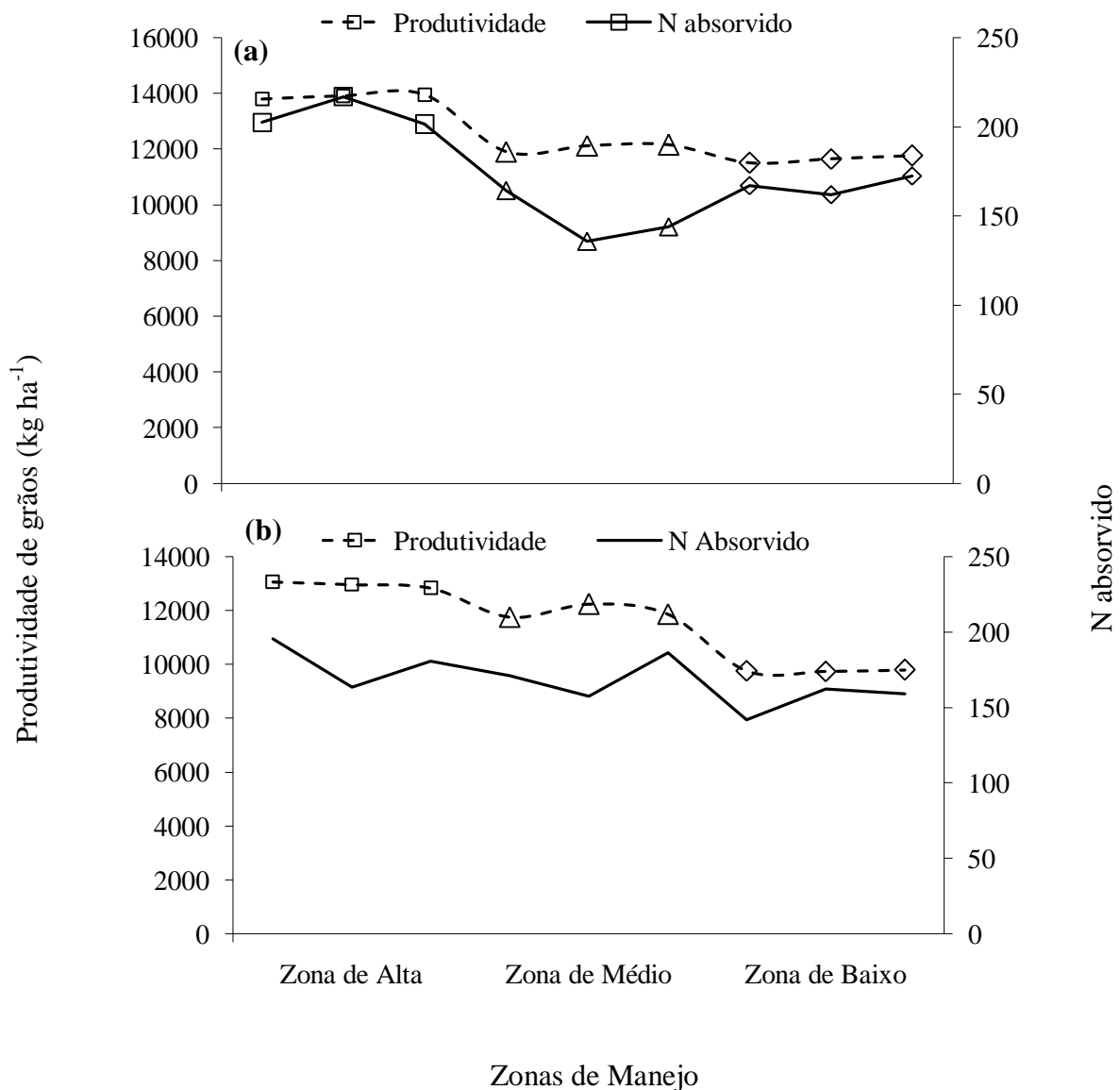
Para os componentes de rendimento da cultura observa-se que o aumento da população resultou em incremento linear do número de grãos na ZA e incremento quadrático para as ZM e ZB. Por outro lado, independente da zona de manejo, verificou-se uma diminuição no peso de grãos com o aumento da população de milho. Assim para cada

incremento em 10.000 plantas de milho, ocorreu uma diminuição no peso de 1000 grãos de 15; 9,60 e 5,60 gramas para as ZB, ZM e ZA respectivamente (Figura 5), estando estes resultados de acordo com as avaliações de N na MS. Para a maior população de 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> na ZB, se teve uma redução de 29 e 17% no peso de 1.000 grãos e no teor de N na fitomassa, respectivamente, quando comparado a ZA. Na ZA e ZM o maior número de grãos compensou o menor peso observado na maior população, resultando em maior incremento do rendimento.



**Figura 5. Relação entre população e os componentes de rendimento nas zonas de manejo**

O ajuste da população de plantas de acordo com as zonas de manejo, para 46.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  na ZB e 80.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  na ZA resultou em um incremento na produtividade de 19,20 e 7,20% nas ZB e ZA respectivamente, associados a um melhor aproveitamento do N fertilizante sendo o incremento do N absorvido pelo milho de 8,40 e 15% nas ZB e ZA quando comparado a população fixa de 70.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (Figura 6). Estes resultados sugerem que o ajuste das populações nas zonas de manejo é uma estratégia eficiente de melhor utilização dos recursos como água disponível, nutrientes e luminosidade e ainda que apesar da maior eficiência de utilização do uso do N com o ajuste das populações, é necessário novos estudos avaliando curvas de resposta a N para cada zona de manejo em função da população.



**Figura 6. Incremento na produtividade e no N absorvido com o ajuste da população a zonas de manejo. (a) Taxa variável e (b) Taxa fixa.**

### 3.6. CONCLUSÕES

A utilização de zonas de manejo através do acúmulo de mapas de rendimento foi um eficiente parâmetro visando o ajuste de população de plantas de milho em lavouras comerciais, potencializando o rendimento e o aproveitamento do N fertilizante aplicado.

O ajuste da população de plantas através da diminuição para 46.000 plantas ha<sup>-1</sup> na ZB proporcionou incremento no rendimento próximo a 20%, diminuindo a variabilidade espacial produtiva do talhão e ainda potencializou o rendimento na ZA quando do aumento da população até 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Apesar da maior eficiência de utilização do uso do N com o ajuste das populações, é necessário novos estudos avaliando curvas de resposta a N para cada zona de manejo em função da população.

### 3.7. LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 20:151- 157, 1996.
- 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.
- AMADO, T.J.C.; PES, L.C.; LEMAINSKI, C.L.; & SCHENATO, R.B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com o rendimento de milho e feijão irrigados R. Bras. Ci. Solo, 33:831-843, 2009.
- AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M. & SULZBACH, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 42:1101-1110, 2007.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. Ci. Rural, 31: 715-722, 2001.
- BLACKMORE, S. Precision farming: an overview. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, p.86-8, 1994.
- BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Bios. Eng.*, 84:455–466, 2003.
- BONGIOVANNI, R. A spatial econometrics approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production. *Ph.D. Thesis*, Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN (EUA), 280 p., 2002.

- BRAGACHINI, M.; BONGIOVANNI, M.; MENDEZ A.; SCARAMUZZA, F. Fertilización y densidad de siembra variable. Informe Técnico de divulgación. Disponível em <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Fertilizacion-y-Densidad-Siembra-Variable.asp> Consultado em 15/02/2012, 2004.
- BREDEMEIER, C., & SCHMIDHALTER, U. (2005). 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.
- BUTZEN, S. & GUNZENHAUSER, B. Putting variable-rate seeding to work on your farm. *Crop Insights* Vol. 19, No 15, 2010.
- CAMBOURIS, A.N.; NOLIN, M.C.; SIMARD, R.R. Optimisation of corn seeding rates based on clay content. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: University of Minnesota, 2002. 1 CD-ROM.
- 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.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- DAMPNEY, PMR & MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. In: 4th International Conference on Precision Agriculture, July 19-22, 1998. St. Paul. MN (EUA). 661-674. 1998.
- DELIN, S. & BERGLUND, K. Management zones classified with respect to drought and waterlogging. *Prec. Agric.*, 6:321-340, 2005.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) *Milho: tecnologia da produtividade*. Piracicaba: ESALQ, 2001. p.120-5.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FIORIN, J.E.; REINERT, D. J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:249-255, 1997
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000.
- 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.



- GIOTTO, A.; ROBAINA, A.D.; SULZBACH, L. Agricultura de precisão com o sistema CR Campeiro5. Santa Maria: [s.n.], 2004. 330p.
- GIRARDELLO, C.V. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto submetido a escarificação de sítio específico e o rendimento da soja. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2010, 98p. (Dissertação de Mestrado).
- GREGORET, M.C.; DARDANELLI, J.; BONGIOVANNI, R.; ZORITA, M.D. Modelo de respuesta sitio-específica del maíz al nitrógeno y agua edáfica en um haplustol. R. Arg. Ci. Suelo, v. 24, p.147-159, 2006.
- HURTADO, S.M.C.; RESENDE, A.V.; SILVA, C.A.; CORAZZA, E.J.; SHIRATSUCHI, L.S. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 44:300-309, 2009.
- 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., 1995, Madison. **Proceeding**. Madison: ASA, 1995. p.427-439.
- MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E., CIRILO, A.G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. Field Crops Res., Amsterdam, v. 71, p. 183-193, 2001.
- MADDONI, G.A. Manejo por ambiente: Pautas para el manejo de la variabilidad en maíz. In: 9<sup>no</sup> Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 4<sup>ta</sup> Expo de Máquinas Precisas, Córdoba-Argentina, 2010.
- MELCHIORI, R.; PAUTASSO, J.; ALBARENQUE, S.; KEMERER, A.; Fertilización nitrogenada em trigo según zonas de manejo. In 10<sup>o</sup> Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 5<sup>ta</sup> 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.
- MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. Engenharia Agrícola, v.22, p.83-92, 2002.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1989. 442 p.
- PAVINATO, P. S.; CERETTA, C.A.; GIOTTO, E.; MOREIRA, I.C.L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. Ciência Rural, v.38, n.2, p.358-364, 2008.
- PIERCE, F.J. & NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. In: D Spark (ed) Advance in Agronomy Academic Press 67: 1-85. 1999.

- 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.
- RUFFO, M. Development of site-specific production functions for variable rate corn nitrogen fertilization. Ph.D. Thesis. Dept. of Crop Sciences. University of Illinois at Urbana - Champaign, IL (USA), 121 pp. 2003.
- SANTI, A.L. Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007, Tese (Doutorado).
- SHANAHAN, J.; DOERGE, T.; SNYDER, C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; JOHNSON, J. Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: University of Minnesota, 2000. 1 CD-ROM.
- SIQUEIRA, G; GREGO, R.G.; VIEIRA, S.; & CEDDIA, M. Variabilidad espacial y temporal de la permeabilidad del suelo en el cultivo de *Triticale* en sistemas de siembra directa. *Actas do XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta (Argentina). p.179. 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, pp. 1621–1632, 1999.
- VIEIRA, SR; GREGO, C.R.; SIQUEIRA, G.M.; MIGUEL, F.M. & PAVLU, F.A. Variabilidad espacial del almacenamiento de agua del suelo bajo siembra directa. *Actas do XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta (Argentina). p. 178. 2006.
- ZUBILLAGA, M.M.; CARMONA, M.; LATORRE, A.; FALCON, M. & MJ BARROS, M.J. Estructura espacial de variables edáficas a nivel de lote en Vedia-Provincia de Buenos Aires. *Actas do XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta (Argentina). p.288. 2006.

## 4. DISCUSSÃO

A variabilidade no potencial produtivo entre as zonas de manejo justificou a consideração deste parâmetro para ajustar as populações, sendo que com a população padrão de 70.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  o rendimento na ZA foi 32,60 e 8,30% maior do que na ZB e ZM, sendo os valores de N absorvido igual para as três zonas de manejo. Ambientes produtivos distintos foram associados a diferenças no conteúdo de água no início da estação de crescimento das culturas em estudo conduzido na região de Córdoba-Argentina. Com isto, os maiores rendimentos de milho nas ZA em relação a ZB foram associados a maior disponibilidade de água no solo (Gregorete et al., 2006). Já, Zubillaga et al., (2006) associaram os sítios de maior rendimento com a maior disponibilidade de N do solo as plantas. Em condições de sequeiro a disponibilidade de água no solo, além de afetar diretamente o rendimento da cultura, tem influência indireta no ciclo do N no solo, de modo que a umidade afeta a mineralização do N orgânico e o suprimento do nutriente as plantas por fluxo de massa.

Neste sentido analisando-se o desempenho da maior população (80.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) nas zonas de manejo, o acúmulo de N na MS foi 40% maior na ZA em relação a ZB e ZM, respectivamente. Este maior acúmulo de N na fitomassa foi acompanhado de um incremento no rendimento de 52,90 e 36,60% em relação a ZB e ZM, respectivamente. Para o peso de 1000 grãos, na ZB se teve uma redução de 29% em relação a ZA. Esses resultados provavelmente evidenciam a existência de competição interespecífica de plantas nesta zona e, portanto, a necessidade de um ajuste na população devido às diferenças de oferta ambiental (Dourado Neto et al., 2001; Maddoni et al., 2001). De modo que, ajustando-se a população para 46.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  na ZB, diminuiu-se a competição interespecífica, proporcionou-se um maior acúmulo de N na MS e um maior rendimento de grãos.

O ajuste da população de plantas de milho às zonas de manejo proporcionou incremento no rendimento de 19,20 e 7,20% nas ZB e ZA respectivamente, associados a um melhor aproveitamento do N fertilizante sendo o incremento do N absorvido pelo milho de 8,40 e 15% nas ZB e ZA quando comparado a população fixa de 70.000 plantas. A análise econômica para as duas safras confirmou a viabilidade econômica do ajuste da população de plantas de milho às zonas de manejo (Fulton et al. 2010) quando comparada com a população fixa (70.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ), resultando em um incremento econômico na safra 2009/10 e 2010/11, nas ZB e ZA de 19,80 e 5,56; 28,72 e 6,61% respectivamente. Observou-se que o

maior incremento econômico ocorre na ZB, suportando a afirmação de Lowenber-De Boer (1999) de que os investimentos para a dose variável de sementes de milho seriam economicamente justificáveis se uma área apresentar ampla variabilidade em seus rendimentos, com no mínimo 10% da área com produtividades inferiores a média.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C. & SANTI, A.L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J.E., ed. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, 2007. p.99-144.

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. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1101-1110, 2007.

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

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

BRAGACHINI, M.; BONGIOVANNI, M.; MENDEZ A. & SCARAMUZZA, F. Fertilizacion y densidad de siembra variable. Informe Técnico de divulgación. Disponível em <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Fertilizacion-y-Densidad-Siembra-Variable.asp> Consultado em 15/02/2012, 2004.

BREDEMEIER, C., & SCHMIDHALTER, U. (2005). 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.

CAMBOURIS, A.N.; NOLIN, M.C. & SIMARD, R.R. Optimisation of corn seeding rates based on clay content. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: University of Minnesota, 2002. 1 CD-ROM.

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. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) *Milho: tecnologia da produtividade*. Piracicaba: ESALQ, p.120-5, 2001.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) *Milho: tecnologia da produtividade*. Piracicaba: ESALQ, 2001. p.120-5.

DUVICK, D. N. & CASSAN, K. G. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. *Crop Science*, Madison, v.39, n.6, p.1622- 1630, 1999.

FANCELLI, A.L. & DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000.

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

GREGORET, M.C.; DARDANELLI, J.; BONGIOVANNI, R.; ZORITA, M.D. Modelo de respuesta sitio-específica del maíz al nitrógeno y agua edáfica en um haplustol. *R. Arg. Ci. Suelo*, v. 24, p.147-159, 2006.

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., 1995, Madison. **Proceeding**. Madison: ASA, 1995. p.427-439.

LOWENBERG-DEBOER, J. Economics of variable rate planting for corn. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. *Proceedings...* Minneapolis: P.C. Robert; R.H. Rust; W.E. Larson, 1998. p.1643-51.

MADDONI, G.A. Manejo por ambiente: Pautas para el manejo de la variabilidad en maíz. In: 9<sup>no</sup> Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 4<sup>ta</sup> Expo de Máquinas Precisas, Córdoba-Argentina, 2010.

MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E., CIRILO, A.G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crops Res.*, Amsterdam, v. 71, p. 183-193, 2001.

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

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. *Engenharia Agrícola*, v.17, p.97-107, 1997.

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

MOLIN, J.P.; MASCARIN, L.S. & VIEIRA JÚNIOR, P.A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho. *Eng. Agric.*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.528-536, 2006.

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

TOLLENAAR, M & WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop Science*, Madison, v.39, n.6, p.1597-1604, 1999.

TOLLENAAR, M. & LEE, E. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.75, n.1, p.161-169. 2002.

VIEIRA JUNIOR, P.A. Milho. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (Ed.). *Ecofisiologia dos cultivos anuais*. São Paulo: Nobel, p. 41-72, 1999.

VIEIRA JÚNIOR, 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 Sci. Agron.* V.28, n.4, p.483-492, 2006.

ZUBILLAGA, M.M.; CARMONA, M.; LATORRE, A.; FALCON, M. & MJ BARROS, M.J. Estructura espacial de variables edáficas a nivel de lote en Vedia-Provincia de Buenos Aires. *Actas do XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta (Argentina). p.288. 2006.

## 6. ANEXOS

### ANEXO A. Localização das áreas de estudo do Projeto Aquarius



### ANEXO B. Perfil de solo da área experimental



ANEXO C. Dose variável de sementes pelo controlado Topper 4500 ®



ANEXO D. Distribuição espacial das plantas de milho na linha e população final

**50000 plantas.ha<sup>-1</sup>**  
Espaçamento ideal entre plantas:  
40 cm



**70000 plantas.ha<sup>-1</sup>**  
Espaçamento ideal entre plantas:  
29 cm



**80000 plantas.ha<sup>-1</sup>**  
Espaçamento ideal entre plantas:  
25 cm





## ANEXO E. Componente de rendimento da cultura

População de plantas  
Zona de baixo rendimento X alto rendimento  
Safrá 2010/2011

## 50000 plantas

Baixo rendimento



20 cm

Alto rendimento



23cm

## 70000 plantas

Baixo rendimento



15 cm

Alto rendimento



18 cm

## 80000 plantas

Baixo rendimento



13 cm

Alto rendimento



18 cm

