



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

LUIZ FERNANDO PRICINOTTO

**DENSIDADES POPULACIONAIS E REGULADOR DE  
CRESCIMENTO EM HÍBRIDOS DE MILHO COM  
DIFERENTES ARQUITETURAS**

LUIZ FERNANDO PRICINOTTO

**DENSIDADES POPULACIONAIS E REGULADOR DE  
CRESCIMENTO EM HÍBRIDOS DE MILHO COM  
DIFERENTES ARQUITETURAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli

Londrina  
2014

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca  
Central da Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

P947d Pricinotto, Luiz Fernando.  
Densidades populacionais e regulador de crescimento em híbridos de milho com diferentes arquiteturas / Luiz Fernando Pricinotto. – Londrina, 2014.  
109 f. : il.

Orientador: Claudemir Zucareli.  
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.  
Inclui bibliografia.

1. Milho híbrido – Teses. 2. Milho – Rendimento – Teses. 3. Giberelina – Teses. 4. Reguladores de crescimento – Teses. 5. Hormônios vegetais – Teses. I. Zucareli, Claudemir. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 633.15

LUIZ FERNANDO PRICINOTTO

**DENSIDADES POPULACIONAIS E REGULADOR DE  
CRESCIMENTO EM HÍBRIDOS DE MILHO COM  
DIFERENTES ARQUITETURAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Dana Kátia Meschede  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Dr. Leandro Paiola Albrecht  
Universidade Federal do Paraná - UFPR

---

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. André Mateus Prando  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -  
EMBRAPA

---

Prof. Dr. Getúlio Takashi Nagashima  
Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR

---

Prof. Dr. Cassio Egídio Cavenaghi Prete  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 06 de Novembro de 2014.

A minha esposa, Michelly Poliana, e minha filha, Maria Clara,  
pelo incentivo, amor, colaboração e fonte de inspiração para  
que pudesse realizar mais este sonho,

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelas graças proporcionadas em minha vida;

Aos meus pais, Valmir e Ivone, e meu irmão, Gustavo, pelo apoio e por tudo que representam em minha vida;

À Universidade Estadual de Londrina (UEL), Departamento de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado;

Ao Professor Claudemir Zucareli, meu orientador, pela receptividade quando o procurei para que me orientasse, pelo compartilhamento de conhecimentos que possibilitaram meu aperfeiçoamento profissional e a produção da tese;

Ao Governo do Estado do Paraná, em especial a pessoa do secretário da agricultura, Norberto Anacleto Ortigara, por ter me colocado a disposição para realizar o curso junto a UEL.

Ao professor Cassio Egidio Cavenaghi Prete pelo apoio prestado junto a condução dos experimentos na Fazenda Experimental da UEL;

A professora Inês Cristina da Batista Fonseca pela ajuda na análise e apresentação dos dados obtidos;

A todos os funcionários da Universidade Estadual de Londrina pelos serviços prestados;

Aos amigos pós-graduandos, Leandro Spolaor, André Ferreira e Mariana Oliveira pela fundamental ajuda na condução dos experimentos referentes ao curso de Doutorando;

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

**MINHA SINCERA GRATIDÃO.**

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário” (**Albert Einstein**)

PRICINOTTO, Luiz Fernando. **Densidades populacionais e regulador de crescimento em híbridos de milho com diferentes arquiteturas**. 2014. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

## RESUMO

Com o uso de biorreguladores de plantas é possível obter plantas de milho de menor porte e com folhas mais rígidas e eretas, melhorando o aproveitamento da radiação solar, e assim, o rendimento de grãos da cultura. Desta forma, o trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito de diferentes populações de plantas e doses de trinexapac-ethyl (TE) sobre as características da parte aérea, componentes de produção e rendimento de dois híbridos de milho com diferentes arquiteturas, cultivados em espaçamento reduzido (0,45 m). Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Mirante (2010/2011) e na Fazenda Escola da UEL (2011/2012), com delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial completo 5x5, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco populações de plantas (40, 60, 80, 100 e 120 mil plantas ha<sup>-1</sup>); cinco doses de (TE) (0, 100, 200, 300 e 400 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) aplicadas no estádio V6. Avaliou-se a altura das plantas e da inserção da espiga, diâmetro de colmo, índice de área foliar, número de espigas por hectare, de fileiras de grãos por espiga e de grãos por fileira, comprimento da espiga, massa de mil grãos e produtividade de grãos. Os dados foram analisados através da metodologia superfície de resposta. O incremento na população de plantas aumentou a altura de plantas, de inserção de espiga, o índice de área foliar, o número de espigas por hectare, mas reduziu o diâmetro do colmo, o comprimento das espigas, o número de grãos por fileira e a massa de mil grãos, não alterando o número de fileira de grãos por espiga. O biorregulador TE reduziu a altura de plantas e de inserção de espiga. O TE promoveu alterações nos componentes de produção do milho com aumento no comprimento das espigas e no número de grãos por fileira e reduziu a massa de mil grãos do milho. A produtividade do milho é incrementada pela interação de população de plantas e doses de TE.

**Palavras-chave:** População de plantas. Redutor de crescimento. Giberelinas. Trinexapac-ethyl. *Zea mays* (L.).

PRICINOTTO, Luiz Fernando. **Population densities and growth regulator in maize hybrids with different architectures**. 2014. 109 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) - State University of Londrina, Londrina, 2014.

### ABSTRACT

With the use of growth regulators is possible to obtain corn plants smaller and more rigid and erect leaves, improving the utilization of solar radiation, and thus the yield of the crop, but these results are dependent on the environment, the genotype and plant arrangement. Thus, the work aimed to evaluate the effect of different plant populations and rates reducer plant on the development characteristics, yield components and yield of two maize hybrids with different architectures, cultivated in small spacing (0.45 m). The experiments were conducted at Mirante Farm in the town of Cambé-PR (2010/2011) and the Farm School at UEL in Londrina-PR (2011/2012), with a randomized block design in a 5x5 full factorial, with four replications. The treatments consisted of five plant populations (40, 60, 80, 100 and 120 thousand plants ha<sup>-1</sup>); five ethyl-trinexapac rates (0, 100, 200, 300 and 400 g ai ha<sup>-1</sup>) applied to the V6 stage. Plant height, ear insertion height, stem diameter, leaf area index, number of ears per hectare, ear length, number of rows of kernels per ear, number of kernels per row, thousand grain weight and grain yield. Data were analyzed using response surface methodology starting from the initial second-order model. Increasing plant population increased plant height, ear insertion height, the leaf area index, number of ears per hectare, but reduced stem diameter, length of ears, number of kernels per row and thousand grain weight, not changing the number of rows of grains per spike. The growth reducer ethyl-trinexapac reduced plant height and ear insertion, allowing the use of higher plant density. The ethyl-trinexapac promoted changes in components production of maize with increase in the length of the spikes and the number of kernels per row and reduced the weight of a thousand grains of corn. The corn production is enhanced by the interaction of plant population and application of ethyl-trinexapac, and the best combinations of variables according to genotype and growing environment.

**Key words:** Plant population. Growth retardant. Gibberellins. Trinexapac-ethyl. *Zea mays* (L).

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> -	Variação teórica da produção por unidade de planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em função da densidade populacional .....	23
<b>Figura 4.1</b> –	Dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas diárias referentes a safra de cultivo 2010/2011, Cambé-PR.....	47
<b>Figura 4.2</b> –	Dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas diárias referentes a safra de cultivo 2011/2012, Londrina-PR .....	48
<b>Figura 4.3</b> –	Altura de plantas (a) e de inserção de espiga (b) do híbrido 2B710 HX na safra 1, em resposta as populações de plantas e doses de TE .....	52
<b>Figura 4.4</b> –	Altura de plantas (a) e de inserção de espiga (b) do híbrido 2B710 HX na safra 2, em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	54
<b>Figura 4.5</b> –	Altura de plantas (a) e de inserção de espiga (b) do híbrido STATUS TL na safra 1, em resposta as populações de plantas e doses de TE.....	56
<b>Figura 4.6</b> –	Diâmetro de colmo do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	58
<b>Figura 4.7</b> –	Diâmetro de colmo do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	58
<b>Figura 4.8</b> –	Diâmetro de colmo do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	59
<b>Figura 4.9</b> –	Diâmetro de colmo do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	59
<b>Figura 4.10</b> –	Índice de área foliar do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	61
<b>Figura 4.11</b> –	Índice de área foliar do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	61
<b>Figura 4.12</b> –	Índice de área foliar do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	62

<b>Figura 4.13</b> – Índice de área foliar do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	62
<b>Figura 4.14</b> – Produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	64
<b>Figura 4.15</b> – Produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	64
<b>Figura 4.16</b> – Produtividade de grãos do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	66
<b>Figura 4.17</b> – Produtividade de grãos do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	67
<b>Figura 5.1</b> – Dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e temperaturas mínimas diárias referentes à safra de cultivo 2010/2011 .....	81
<b>Figura 5.2</b> – Dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e temperaturas mínimas diárias referentes à safra de cultivo 2011/2012 .....	81
<b>Figura 5.3</b> – Número de espigas por hectare do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	84
<b>Figura 5.4</b> – Número de espigas por hectare do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	85
<b>Figura 5.5</b> – Número de espigas por hectare do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	85
<b>Figura 5.6</b> – Número de espigas por hectare do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	86
<b>Figura 5.7</b> – Comprimento de espiga do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	88
<b>Figura 5.8</b> – Comprimento de espiga do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	88
<b>Figura 5.9</b> – Comprimento de espiga do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	89
<b>Figura 5.10</b> – Comprimento de espiga do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	89
<b>Figura 5.11</b> – Número de grãos por fileira do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	90

<b>Figura 5.12</b> – Número de grãos por fileira do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	91
<b>Figura 5.13</b> – Número de grãos por fileira do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	91
<b>Figura 5.14</b> – Número de grãos por fileira do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	92
<b>Figura 5.15</b> – Massa de mil grãos do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	93
<b>Figura 5.16</b> – Massa de mil grãos do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	94
<b>Figura 5.17</b> – Massa de mil grãos do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	94
<b>Figura 5.18</b> – Massa de mil grãos do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	95
<b>Figura 5.19</b> – Produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	96
<b>Figura 5.20</b> – Produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	97
<b>Figura 5.21</b> – Produtividade de grãos do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	99
<b>Figura 5.22</b> – Produtividade de grãos do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE. ....	100

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 4.1** – Características químicas do solo das áreas experimentais localizadas em Cambé-PR (2010/2011) e Londrina-PR (2011/2012).....48
- Tabela 5.1** – Características químicas do solo das áreas experimentais localizadas em Cambé-PR (2010/2011) e Londrina-PR (2011/2012).....80

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A CULTURA DO MILHO .....	16
2.2	ARRANJOS POPULACIONAIS EM MILHO .....	17
2.2.1	Espaçamento Entre Linhas.....	18
2.2.2	Densidades de Plantas.....	21
2.2.3	Arquitetura Foliar de Plantas de Milho.....	25
2.3	BIORREGULADOR DE PLANTAS .....	26
2.3.1	Uso de Biorreguladores de Plantas na Agricultura .....	27
2.3.2	Uso de Biorreguladores de Plantas na Cultura do Milho .....	29
2.3.3	Biorregulador de Plantas Trinexapac-ethyl.....	30
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>ARTIGO A: CARACTERÍSTICAS DE PARTE AÉREA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM CULTIVARES DE MILHO SUBMETIDO À VARIAÇÃO POPULACIONAL ASSOCIADA À BIORREGULADOR DE PLANTAS</b> .....	<b>42</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	44
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	45
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.4	CONCLUSÕES .....	69
4.5	REFERÊNCIAS.....	70
<b>5</b>	<b>ARTIGO B: ALTERAÇÃO POPULACIONAL E DOSES DE TRINEXAPAC-ETHYL NO DESEMPENHO PRODUTIVO DO MILHO</b> .....	<b>74</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	76
5.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	78
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	82
5.4	CONCLUSÕES .....	102
5.5	REFERÊNCIAS.....	103
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido a sua capacidade de adaptação e composição química e nutritiva, o milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais cultivados e consumidos no mundo. É utilizado tanto na alimentação humana quanto animal, tendo importante papel socioeconômico e servindo também de matéria-prima industrial.

Atualmente há um aumento no consumo de milho, principalmente para atender a demanda energética da produção de etanol e o consumo animal. Desta forma, é cada vez maior a pressão para o aumento do rendimento de grãos desse cereal. No Brasil, o milho é um dos cereais mais importantes economicamente, sendo o estado do Paraná o maior produtor no país, estando entre os estados com maior área cultivada e também com as maiores produtividades.

A alta capacidade produtiva observada na cultura do milho decorre de seu mecanismo fotossintético (planta C4), por isso, é essencial a máxima saturação pela radiação solar. Uma das formas de aumentar a interceptação da radiação é pela melhoria na distribuição das plantas na área. O efeito do arranjo de plantas sobre o rendimento de grãos é mais significativo no milho do que em outras gramíneas, em função da morfologia, anatomia e fisiologia da planta.

Nos últimos anos, agricultores de várias regiões buscam alcançar altos rendimentos na cultura do milho através da adoção de novas tecnologias, principalmente o uso de maiores populações de plantas e redução do espaçamento entre linhas de semeadura. Porém, algumas limitações são impostas a esse tipo de tecnologia, como o autossombreamento das folhas inferiores devido a sua natureza alterna e oposta ao longo do perfil da planta.

Algumas modificações atuais ocorridas nos genótipos de milho, tais como menor altura de plantas, de inserção de espiga, do número de folhas, da esterilidade, da duração do período pendramento/espigamento e, plantas com folhas de angulação mais ereta e potencial produtivo otimizado, vem favorecendo a adoção de novos arranjos de plantas, mediante aumento da população e a redução do espaçamento entre linhas. Desta forma, faz-se necessário reavaliar as recomendações conforme o híbrido utilizado, visto que alguns genótipos, mesmo com elevado potencial produtivo, não possuem características morfológicas que favorecem o cultivo nestas condições.

Híbridos com folhas de angulação ereta e estreitas, principalmente acima da espiga, são de mais fácil adaptação a maiores densidades populacionais e espaçamento reduzido, ao passo que, genótipos com folhas planas e largas, não possuem bom desempenho nessas condições. Assim, a arquitetura foliar dos híbridos se torna a característica morfológica de grande importância na resposta às diferentes densidades populacionais e espaçamentos em uma lavoura de milho.

A melhoria na arquitetura das plantas vem sendo buscada pelos programas de melhoramento em todo o mundo. Contudo, outras técnicas podem ser utilizadas para este fim, como é o caso do uso de biorreguladores de plantas. As plantas podem responder de forma diferenciada à densidade populacional, mediante alterações morfológicas em resposta às aplicações de biorreguladores.

Biorreguladores de plantas são compostos sintéticos, na maioria das vezes, utilizados para reduzir o crescimento indesejável da parte aérea das plantas, sem diminuir a produtividade de grãos. A maioria dos biorreguladores age por inibição da biossíntese de giberelinas, hormônios que, entre outras ações, promovem alongamento celular. Com auxílio de alguns biorreguladores é possível conseguir plantas com tamanho adequado, visando à redução do crescimento excessivo de seus internódios evitando o acamamento das plantas. Biorreguladores também podem alterar a arquitetura foliar deixando as folhas eretas e rígidas.

O uso na agricultura de biorreguladores de plantas tem demonstrado melhora na expressão do potencial produtivo. Em algumas culturas de interesse econômico já se faz o uso de biorreguladores, como o trinexapac-ethyl (TE) em cultivos de cereais de inverno, no caso, o trigo e da cevada. Estudos indicam que além de reduzir a altura da planta e o acamamento das culturas de inverno, o TE proporciona modificações na arquitetura foliar que promovem ganhos na interceptação da radiação solar aumentando a produtividade de grãos. Em vista as diferenças existentes com relação a cultura do trigo, não se faz possível a adaptação das recomendações de doses de TE para o uso em lavouras de milho, necessitando de estudo específicos.

Perante o exposto, o presente trabalho teve por objetivo, avaliar a resposta de híbridos de milho com arquiteturas foliares contrastantes a diferentes populações de plantas em espaçamento reduzido e com aplicação de diferentes doses de biorregulador trinexapac-ethyl.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* (L.)), é cultivado em todo o mundo, sendo os Estados Unidos o maior produtor com 273,8 milhões de toneladas produzidas, seguido pela China (205,6 milhões ton) e pelo Brasil (81,0 milhões ton) (USDA, 2013). A ampla disseminação do cultivo e uso do milho no mundo se dá pela sua importância econômica, visto suas diversas formas de utilização, sendo as principais, na alimentação animal, bem como, seu crescente uso na fabricação de etanol nos Estados Unidos (KANEKO et al., 2010). Outro fator que garante a vasta disseminação do cultivo do milho é a sua capacidade de adaptação, podendo ser cultivado nas latitudes de 58° Norte até 40° Sul, bem como, localidades situadas abaixo do nível do mar até regiões com mais de 2.500 m de altitude (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

No Brasil, o milho possui grande importância sendo a segunda cultura em área cultivada, superada apenas pelo cultivo da soja. Na safra agrícola de 2012/13 a área cultivada foi de aproximadamente 15,9 milhões de hectares, com produção total de 81,3 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2013).

A produção brasileira de milho tem sido caracterizada pela divisão em duas épocas de cultivo. O cultivo de verão, ou primeira safra, é realizado em época tradicional, durante o período chuvoso e quente, com semeadura variando entre os meses de agosto a outubro. Já o cultivo da chamada segunda safra (safrinha) corresponde ao milho semeado de janeiro a abril, o qual tem aumentado significativamente nos Estados do Paraná, São Paulo e na Região Centro-Oeste (GUTIERREZ, 2010).

O cultivo de verão, mesmo sendo superada pela 2ª safra, ainda é de suma importância, sendo a média produtiva nacional próxima dos 5.091 kg ha<sup>-1</sup>, onde o estado do Paraná possui médias superiores chegando a 8.150 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2013). A produtividade média da cultura do milho no país não reflete o bom nível tecnológico adotado por alguns agricultores brasileiros voltados para lavouras comerciais, uma vez que as médias são obtidas nas mais diferentes regiões, com diferentes sistemas de cultivo, finalidades e níveis tecnológicos

(DEMÉTRIO et al., 2008).

Para se desenvolver, o milho necessita de calor e umidade relativa do ar adequada, uma vez que é cultura de origem tropical. Quando cultivado em condições de clima subtropical, fatores como disponibilidade térmica e de radiação solar são de grande influência sobre o desenvolvimento. O ciclo da cultura do milho varia de 100 e 180 dias entre a germinação e a colheita, em função dos diferentes genótipos (superprecoce, precoce e tardio) e da temperatura (REZENDE et al., 2004), a qual possui relação linear com a duração dos períodos de desenvolvimento da planta (LOZADA; ANGELOCCI, 1999).

O milho é uma das espécies mais eficientes na conversão de energia radiante em fitomassa (SANGOI et al., 2007). Por ser uma planta de metabolismo C<sub>4</sub>, o milho apresenta características fisiológicas favoráveis a uma eficiente conversão do gás carbônico da atmosfera em compostos orgânicos como os carboidratos. Isso ocorre devido ao processo fotossintético destas plantas que proporciona uma contínua concentração do CO<sub>2</sub> nas células da bainha das folhas o que leva a otimização do aproveitamento deste CO<sub>2</sub> em carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Dessa forma, o baixo rendimento de grãos nas lavouras de milho em relação ao potencial produtivo da cultura ocorre em parte em função do inadequado arranjo espacial das plantas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

De uma forma geral, o potencial produtivo do milho pode ser melhor explorado pela adoção de algumas técnicas de cultivo como: escolha de genótipo melhor adaptado às condições de cultivo, época de semeadura preferencial para a região, emprego de espaçamento e densidade de semeadura que proporcionem populações de plantas compatíveis com a tecnologia empregada, controle eficiente de plantas daninhas e manejo adequado do solo (KAPPES, 2010).

## 2.2 ARRANJOS POPULACIONAIS EM MILHO

A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do milho é de fundamental importância na produtividade quando os demais fatores ambientais encontram-se em condições favoráveis (OTTMAN; WELCH, 1989). Argenta et al. (2001b) afirmam que escolher o arranjo de plantas adequado para as condições do cultivo a ser realizado é uma das práticas de manejo mais importantes para quem busca alto rendimento de grãos de milho, pois este afeta diretamente a

interceptação da radiação solar, a qual é um dos principais fatores que determinam a produtividade.

O arranjo de plantas na lavoura pode ser alterado por mudanças na densidade, no espaçamento entrelinhas e na distribuição espacial e temporal das plantas de milho na linhas (SANGOI et al., 2010). Segundo Rizzardi et al. (1994), o melhor arranjo de plantas busca proporcionar uma distribuição uniforme das plantas possibilitando a melhor utilização de luz, água e nutrientes. Desta forma, Sangoi et al. (2001) afirmam que com a distribuição equidistante das plantas, estas competem com menor intensidade entre si por estes fatores.

Gonçalves (2008) cita que para a máxima utilização da radiação solar é necessário a adoção de altas densidades de plantas e redução no espaçamento entre linhas para assim obter área foliar adequada, visando captar rapidamente a radiação incidente e manter essa área foliar ativa por longo período após o espigamento.

Apesar de há muito tempo os estudos sobre o uso de espaçamento reduzido e maiores populações de plantas na cultura do milho serem realizados, apenas recentemente, os agricultores vem adotando estas técnicas em suas lavouras (KAPPES, 2010).

### 2.2.1 Espaçamento Entre Linhas

Tradicionalmente os agricultores que cultivam milho no Brasil tem feito uso de espaçamentos entre linhas de 80 a 100 cm (GUTIERREZ, 2010). Esta prática é adotada principalmente por causa da inadequação de suas colhedoras a espaçamentos inferiores aos de 80 cm (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Com a maior disponibilidade de máquinas adequadas e as características dos híbridos modernos, tem se buscado o estreitamento entre as linhas e o aumento da população de plantas (KAPPES et al., 2011).

Segundo Argenta et al. (2001b) o uso de menor espaçamento entre linhas na cultura do milho permite maior distribuição espacial das plantas, aumentando a eficiência da interceptação da luz, resultando muitas vezes em um incremento de rendimento.

O arranjo espacial favorável de plantas devido a aproximação entre as linhas estimula as taxas de crescimento no início do ciclo, incrementando a

interceptação da luz incidente no dossel e aumenta a eficiência de aproveitamento da mesma logo no início do cultivo (PALHARES, 2003; NUMMER FILHO; HENTSCHKE, 2006). Com espaçamentos maiores (90 cm), ocorre maior sombreamento entre as plantas na mesma linha enquanto grande parte da luz é perdida nas entre linhas atingindo a superfície do solo e não as plantas. Já com espaçamento reduzido (45 cm), a luz atinge maior número de plantas não ocorrendo sombreamento nem perda de radiação incidente entre as linhas de plantas (NUMMER FILHO; HENTSCHKE, 2006).

De acordo com Balbinot Júnior e Fleck (2004), a competição entre plantas da mesma espécie é denominada como competição intraespecífica, já entre plantas de espécies diferentes é chamada de competição interespecífica. Desta forma, a alteração na distribuição das plantas causada pela redução no espaçamento entre linhas, reduz a competição intraespecífica na linha e favorece o milho na competição interespecífica.

Reduzindo-se o espaçamento entre as linhas de plantas e mantendo a mesma população por área, há maior espaçamento entre as plantas na linha, e dessa forma, redução da competição entre plantas pela água, luz e nutrientes. Contudo, aumenta-se a necessidade de adubação com nutrientes de maior mobilidade no solo como, nitrogênio e potássio (DEPARIS, 2006).

Teasdale (1995), afirma que com a redução do espaçamento entre as linhas de milho, a cultura além de melhor aproveitar a radiação incidente (melhor distribuição das folhas), também possui melhor distribuição de raízes. Assim, raízes melhor distribuídas na área podem conferir maior aproveitamento de água e nutrientes e diminuir a disponibilidade de recursos para o crescimento de plantas concorrentes. Sendo assim, em alguns casos específicos, mesmo sem o incremento em produtividade, o produtor acaba sendo beneficiado pela facilidade do controle de plantas daninhas devido ao aumento da capacidade de competição interespecífica do milho (controle cultural).

Os benefícios obtidos com a redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho sobre a produtividade de grãos podem ser observados com maior ênfase quando se trata de cultivos que utilizam híbridos que possuem menor altura de plantas e inserção de espigas, folhas com menor angulação em relação a planta, mais eretas e em menor número e menor área foliar (ARGENTA et al., 2001a; ARGENTA et al., 2001b; FLESCH; VIEIRA, 2004).

Balbinot Júnior e Fleck (2005) afirmam que diversos trabalhos mostram tendências de maiores rendimentos de grãos com a redução do espaçamento entre linhas, principalmente com híbridos superprecoces e de porte baixo.

Em estudo realizado por Kappes et al. (2011), a redução no espaçamento entre linhas de 90 para 45 cm não afetou a produtividade de grãos na maioria dos híbridos, visto que esses possuíam arquitetura foliar convencional. Já a redução de espaçamento entre linhas para o híbrido com arquitetura foliar diferenciada (ereta) proporcionou incrementos de 15% ao cultivo.

Em regiões subtropicais os benefícios da redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho se baseiam na época de semeadura, sendo maiores quando o milho é semeado no início da época recomendada, favorecendo o fechamento da cultura e o aproveitamento da radiação solar incidente (Gutierrez, 2010).

O efeito da redução do espaçamento entre linhas se faz ainda mais evidente em se tratando de cultivos com densidades populacionais elevadas, as quais são frequentes quando se trata de cultivos com genótipos menores em estatura, de arquitetura foliar ereta e alto potencial produtivo (ARGENTA et al., 2001a; ARGENTA et al., 2001b; KAPPES, 2010).

De acordo com Gutierrez (2010), em altas densidades os espaçamentos convencionais (80-100 cm) fazem com que as plantas fiquem muito próximas entre si no sulco de semeadura (10 a 20 cm), aumentando a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes e limitando a disponibilidade de carboidratos à produção de grãos.

O desenvolvimento de híbridos mais tolerantes a altas densidades populacionais, o número de herbicidas de controle seletivo disponíveis no mercado para controle de invasoras e a agilidade no desenvolvimento de máquinas agrícolas adaptadas ao cultivo de milho com linhas mais próximas, favoreceram a adoção desta prática cultural no país (BERNARDON, 2005). Cruz et al. (2007) fortalecem esta afirmativa, evidenciando o desenvolvimento de colhedoras com plataformas adaptáveis que realizam a colheita do milho em espaçamentos de até 45 cm entre as linhas.

### 2.2.2 Densidades de Plantas

De forma mais simples que a redução de espaçamento entre linhas, o arranjo espacial de plantas, pode ser melhor adequado devido a alteração na densidade de plantas, modificando assim a distribuição de plantas na linha (ARGENTA et al., 2001b; SANGOI, 2001).

Silva et al. (2006) afirmam que o manejo da densidade de plantas na cultura do milho é a prática que tem maior efeito sobre o rendimento de grãos. Isso ocorre porque o milho não possui mecanismos eficientes de compensação de espaços, pois seu perfilhamento é escasso e ineficiente (SANGOI et al., 2011), sua capacidade de expansão foliar é limitada e sua prolificidade é baixa (ANDRADE et al., 1999; SILVA et al., 2006), bem como o número de grãos por espiga e a massa do grão, não têm plasticidade suficiente para compensar reduções no número de plantas (EMYGDIO; TEIXEIRA, 2008). Assim, definir a população mais adequada ao tipo de cultivo a ser realizado, considerando o genótipo e o manejo, é de fundamental importância para o sucesso da cultura de milho.

Segundo Mundstock (2007), altos rendimentos na cultura do milho somente serão obtidos com adequado número de plantas por unidade de área. O número ideal de plantas por área será determinado conforme a cultivar utilizada, a finalidade do cultivo do milho, o nível de fertilidade do solo e da adubação prevista, bem como, o risco de estresse hídrico durante o ciclo. Usualmente, quando as condições de cultivo são as mais próximas do ideal, as densidades recomendadas variam entre 70.000 a 75.000 plantas  $ha^{-1}$ . O autor ainda afirma que, nos últimos anos, a população de plantas por área vem aumentando devido à entrada no mercado de híbridos adaptados a competição intraespecífica.

De acordo com estudos de Silva et al. (2006), a escolha adequada do arranjo espacial melhora a interceptação da radiação solar incidente pela comunidade de plantas de milho. Argenta et al. (2001b) afirmam que o mesmo ocorre com o aumento da densidade populacional, sobretudo acima de 60.000 plantas  $ha^{-1}$ . Por outro lado, a utilização de baixas densidades de plantas reduz a interceptação da radiação solar por área, favorecendo a produção de grãos por planta, ou seja, a produção individual por planta é a maior possível, porém o rendimento de grãos por área é reduzido (SANGOI, 2001).

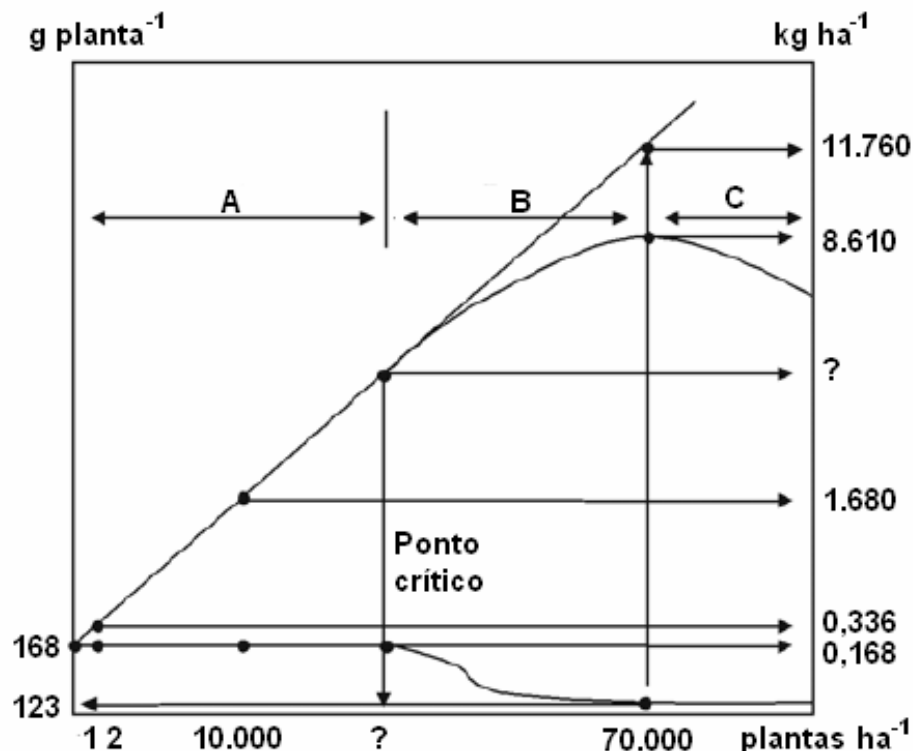
A produção de massa seca no período que antecede o florescimento

representa boa parte do potencial que a cultura pode investir na formação de grãos (ALMEIDA et al., 1998). Dessa forma, uma alternativa para compensar o menor crescimento vegetativo das plantas de milho, nesses casos, é a utilização de maior número de plantas por unidade de área (ALMEIDA et al., 2000). Esse menor crescimento na fase vegetativa pode estar associada a época de cultivo ou ao ciclo do genótipo.

Dourado Neto et al. (2001) salientam que o rendimento de grãos na cultura do milho por unidade de área aumenta linearmente com o aumento da população de plantas (fase A), até um ponto denominado “crítico”, o qual varia entre os diferentes híbridos. Esse aumento linear se dá devido à produção de grãos por unidade de planta ser máximo e permanecer constante. Nesta faixa de população que antecede o ponto crítico, não há competição intraespecífica por água, luz e nutrientes, assim, a produção de grãos por unidade de planta permanece constante. Acima da população crítica, devido à competição ocorrida entre as plantas de milho, a produção por planta decresce e o rendimento de grãos por área apresenta comportamento quadrático (fase B). Assim, determina-se o ponto denominado ponto de máxima produção por área ou produtividade máxima, ou seja, a população ideal para a combinação genótipo-ambiente. Em populações além desse ponto de máxima produção por área, a perda de produção individual é superior ao ganho com aumento de plantas por área, proporcionando redução no rendimento de grãos por hectare (fase C). Este comportamento pode ser visualizado de forma mais didática na Figura 1.

Respostas do rendimento de grãos de híbridos ao incremento de população de plantas assim como o descrito anteriormente são reportados por Flesch e Vieira (2004); Casa et al. (2007); Sangoi et al. (2007); Brachtvogel et al. (2009); Kappes et al. (2011) e Sangoi et al. (2011). Porém, em alguns casos, devido à peculiaridade da interação ocorrida entre híbridos atuais e ambiente, o rendimento pode ser acrescido conforme o aumento da população de plantas sem que este atinja o ponto crítico, como observado em trabalhos realizados por Marchão et al. (2005); Casa et al. (2007) e Kappes et al. (2011).

**Figura 1** - Variação teórica da produção por unidade de planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em função da densidade populacional.



Fonte: Dourado Neto et al. (2001).

Sangoi et al. (2000) citam que o incremento da densidade de plantas reduz a disponibilidade de fotoassimilados para a fase de enchimento de grãos e a manutenção das demais estruturas do vegetal. Ainda, segundo os autores, o aumento da população reduz o tamanho das espigas, no entanto essa é compensada na produção pelo aumento do número de plantas por área. Da mesma forma, mesmo com o aumento da produtividade, o acréscimo no número de plantas por unidade de área normalmente afeta de forma negativa alguns componentes de produção como, massa de mil grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta (PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; KAPPES, 2010).

Híbridos tardios e de porte alto produzem maior quantidade de massa verde e geralmente não se beneficiam de menores espaçamentos ou aumentos na densidade de plantas, pois possuem grande desenvolvimento vegetativo e logo no início de seu ciclo serão sombreados por plantas vizinhas. Já híbridos precoces, com pouco desenvolvimento de massa verde, tardam a fechar as linhas, onde um aumento na densidade de plantas e redução do espaçamento entre linhas se faz necessário para otimizar a interceptação da radiação solar.

O uso de maiores densidades de plantas também acarreta malefícios aos cultivos resultando em plantas mais altas e com colmos mais finos (SANGOI et al., 2002; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003) e, juntamente com a maior distância entre o ponto de inserção das espigas no colmo e o solo (ARGENTA et al., 2001a), acabam favorecendo o acamamento da cultura (FORNASIERI FILHO, 1992; KAPPES, 2010). Segundo Tollenaar et al. (1994), exageros na população de plantas resultam em aparato fotossintético insuficiente para a manutenção de todos os drenos, o que acaba levando os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando estas regiões, favorecendo ainda mais o acamamento.

Sangoi et al. (2002), submetendo híbridos “antigos” (décadas 70 e 80 - arquitetura foliar abertas, porte alto e grande número de folhas) e híbridos “novos” (porte baixo, folhas mais curtas, eretas e em menor número), a diferentes populações de plantas (25, 50, 75 e 100 mil plantas ha<sup>-1</sup>), observaram que a resposta do rendimento de grãos ao incremento da população foi de ordem quadrática para todos os híbridos testados. Nas menores populações de plantas, os híbridos antigos foram mais produtivos que os híbridos novos. Porém, os híbridos modernos foram mais exigente em população de plantas, requerendo cerca de 85.000 plantas ha<sup>-1</sup> para maximizar seu rendimento, enquanto que as populações ótimas para os híbridos antigos foram próximas de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Palhares (2003), avaliando a resposta de híbridos a diferentes densidades populacionais, observou que o rendimento de grãos é crescente conforme o aumento da população até a ordem de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, independente do híbrido, sendo que após esta população, os híbridos responderam de forma diferenciada ao incremento no número de plantas por área. No mesmo ano, ganhos de rendimento de grãos do híbrido AG 9010 foi observado por Paulo e Andrade (2003) quando o mesmo foi submetido ao aumento da população de plantas até 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>, independente do espaçamento entre linhas utilizado.

Na maioria dos estudos que pretendem definir uma população ótima para cultura de milho com híbridos de elevado potencial produtivo, os máximos rendimentos de grãos foram alcançados com altas densidades populacionais (superiores a 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>). Desta forma, fica evidente que a recomendação de populações de plantas acima de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup> pode ser adotada em ambientes favoráveis visando elevar as produtividades da cultura, desde que sejam

usados híbridos tolerantes ao acamamento (ALMEIDA et al., 2000; MARCHÃO et al. 2005). Com base nisso, Kappes et al. (2011) citam que em condições de ambiente favorável, o potencial dos genótipos atuais de milho, pode estar sendo subestimado.

### 2.2.3 Arquitetura Foliar de Plantas de Milho

A arquitetura foliar da planta de milho é representada pela interação de características como número de folhas, angulação foliar, área foliar e distribuição destas ao longo do colmo. Desta forma, a arquitetura foliar se torna a característica morfológica que mais influencia a resposta dos genótipos às diferentes densidades populacionais em uma lavoura de milho. A importância da arquitetura foliar da planta de milho está diretamente relacionada ao fato de que com a maximização da interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura, ocorre também a maximização do rendimento de grãos (SANGOI et al., 2002).

Segundo Tollenaar et al. (1997), o menor número de folhas e a presença de folhas mais eretas e de menor área foliar individual, reduzem o nível de interferência entre as plantas, proporcionando benefícios ao rendimento de grãos quando do aumento no número de plantas por área. A maioria dos híbridos de ciclo precoce utilizados no país possui essas características, desta forma, necessitam de maiores densidades para a maximização do rendimento de grãos, por necessitarem de mais plantas para atingir índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação solar (KAPPES, 2010).

O conceito dos genótipos modernos preve a existência de um grande número de folhas com lâminas eretas e estreitas, principalmente acima da espiga, visto que estas são responsáveis por até 80% da matéria seca acumulado nos grãos da cultura (FORNASIERI FILHO, 2007). A mudança na arquitetura foliar também permitiu aos híbridos modernos manter maiores taxas fotossintéticas das folhas em alta densidade (DWYER et al., 1991), promovendo aumento na eficiência do uso da radiação solar durante o enchimento de grãos, o que contribui para o maior rendimento de grãos por área (TOLLENAAR et al., 1992).

Trabalhos realizados por Johnson et al (1987) e Kasele et al. (1994) com milho identificaram maior atividade fotossintética em folhas de menor tamanho, quando comparadas com folhas maiores. Essa maior atividade deve-se ao aumento da densidade estomática, do conteúdo de proteínas e de clorofila e

consequentemente, da taxa de assimilação do CO<sub>2</sub>.

Por outro lado, Magalhães e Paiva (1997) ressaltam que, mesmo com uma melhor interceptação da luz, esses genótipos, podem apresentar limitações para produção de fotoassimilados, onde sua maior capacidade produtiva estaria ligada diretamente com a habilidade de mobilizar e armazenar produtos fotossintetizados nos grãos e não na capacidade de produzir metabólitos.

Em seu estudo com híbridos de diferentes arquiteturas foliares, Palhares (2003) observou que nas populações de plantas com até 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, o rendimento foi crescente conforme o aumento no número de plantas por área, independente do híbrido. Com o aumento de 60 para 90 mil plantas ha<sup>-1</sup>, o híbrido de arquitetura foliar ereta apresentou incremento de rendimento de grãos, o híbrido de arquitetura semi-ereta apresentou tendência a estabilizar o rendimento de grãos e o híbrido de arquitetura foliar aberta apresentou tendência a estabilizar ou reduzir o rendimento de grãos.

Kappes (2010), estudando o uso de diferentes populações de plantas em híbridos com diferentes arquiteturas foliares, identificou um ajuste quadrático do rendimento de grãos do híbrido XB 7253 (arquitetura semi-ereta) quando submetido as populações de 50, 60, 70, 80 e 90 mil plantas ha<sup>-1</sup>, já para o híbrido AG 9010 (arquitetura ereta) a produtividade de grãos apresentou incrementos lineares conforme o aumento na população de plantas, não se obtendo ponto crítico de máxima produtividade mesmo com o uso de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Alterações na arquitetura foliar, bem como no porte das plantas, objetivando melhorar o aproveitamento da radiação solar também podem ser obtidos através do uso de redutores de crescimento vegetal, favorecendo ainda mais os efeitos da redução do espaçamento entre linhas e do aumento da densidade populacional.

### 2.3 BIORREGULADOR DE PLANTAS

Os fitorreguladores fazem parte de um vasto grupo de substâncias vegetais denominadas hormônios vegetais. Dentre esses, pode-se citar as auxinas, as citocininas, as giberelinas e o etileno (DAVIES, 2007).

As giberelinas são compostos produzidos pelas plantas, que

estimulam tanto a divisão quanto a alongação celular (TAIZ; ZEIGER, 2009). Os efeitos mais evidentes deste composto são observados no crescimento das plantas, especialmente no alongamento do caule (FLOSS, 2004). Nos membros da família das gramíneas, as giberelinas atuam no alongamento dos entrenós, onde o alvo da ação é o meristema intercalar, o qual está localizado próximo a base do entrenó, que produz células derivadas para cima e para baixo (TAIZ; ZEIGER, 2009). Estes autores ainda afirmam que a giberelina GA1 é a forma biologicamente ativa, que regula a altura de diversas plantas, inclusive a de milho.

A ação dos biorreguladores podem se dar de duas formas: direta, provocando mudanças físicas nas estruturas celulares ao interagir com elas ou, indireta, interferindo no caminho metabólico que conduz a um determinado tipo de estrutura (HERTWIG, 1992).

Biorreguladores de plantas são compostos sintéticos, na maioria das vezes, utilizados para reduzir o crescimento indesejável da parte aérea das plantas, sem reduzir sua produtividade (RADEMACHER, 2000). Normalmente ligam-se a receptores na planta e desencadeiam mudanças celulares, as quais podem afetar a iniciação ou modificação do desenvolvimento de órgãos ou tecidos (PENCKOWSKI, 2009). Os biorreguladores que reduzem a estatura das plantas normalmente são antagonistas das giberelinas e agem modificando o metabolismo destas (TREHARNE et al., 1995).

Normalmente, a denominação regulador ou retardante de crescimento é utilizada por indústrias de agroquímicos para se referir a reguladores sintéticos de plantas, os quais são aplicados de forma exógena, sendo estes diferentes dos reguladores de crescimento endógenos (fitormônios) (DAVIES, 2007). Barret (1992) afirma que os resultados do uso de retardantes em plantas normalmente se manifesta de forma análoga aos efeitos proporcionados por hormônios endógenos.

### 2.3.1 Uso de Biorreguladores de Plantas na Agricultura

O emprego de biorreguladores de plantas como técnica agrônômica visando otimizar as produções em diversas culturas tem se mostrado eficiente. Porém, mesmo com o recente crescimento do seu uso, a realidade é de que esse tipo de prática não se faz constante entre os produtores brasileiros (VIEIRA;

CASTRO, 2001; DOURADO NETO et al., 2004).

O uso de biorreguladores e a descoberta dos benefícios promovidos por estas substâncias vem contribuindo para erradicar problemas de vários sistemas de produção e melhorar de forma qualitativa e quantitativa a produtividade dos cultivos (CASTRO; VIEIRA, 2001). Estas substâncias normalmente vem sendo usadas como solução para o acamamento de plantas, aumentando a resistência a este distúrbio e, em consequência, atuando também sobre a produção de grãos (MATYSIAK, 2006).

Em cultivos de grãos nos países europeus, os reguladores vegetais são utilizados como parte integral do sistema de produção visando reduzir riscos de acamamento das culturas devido excesso de chuvas e ventos (RADEMACHER, 2000). De forma semelhante, Reddy (1990), diz que o uso de reguladores vegetais torna-se inevitável nos cultivos de algodão em áreas que apresentam condições de alta umidade e adequada disponibilidade de nutrientes.

Rodrigues et al. (2003), afirmam que entre os biorreguladores de plantas para uso em culturas de cereais se destacam o cloreto de cloralamina (CCC), recomendado para o trigo desde a década de 60, o 2-cloro-etil ácido fosfônico (Ethephon), recomendado para a cultura de cevada na década de 70; e o trinexapac-ethyl (Moddus) recomendado para a cultura do trigo a partir de 2002.

Segundo Hertwig (1992) o uso de biorreguladores inibidores de giberelinas podem aumentar o rendimento das culturas devido a redução do acamamento. Essa redução ocorre devido ao encurtamento e engrossamento do caule das plantas tratadas, bem como, pelo crescimento radicular mais vigoroso e a modificações na arquitetura das folhas que se tornam mais curtas, largas e horizontais. Barret (1992) também cita que estes inibidores promovem a redução dos internódios, sem reduzir seu número, e a redução no tamanho das folhas, as quais ficam mais verdes e fortes.

Estudo realizado por Nagashima et al. (2007) demonstrou que a aplicação foliar de cloreto de mepiquat em algodoeiro reduziu a altura de inserção do primeiro ramo produtivo, o número de ramos frutíferos, o número de maçãs por planta e a massa de matéria seca de caule, estruturas reprodutivas e folhas. No entanto, não observaram efeitos sobre a produção de algodão em caroço.

Fazendo o uso de cloreto de chlormequat na cultura do trigo, Castro e Kluge (1999) observaram redução do acamamento de plantas, aumento no

número de grãos por espiga, incrementos no número de perfilhos e de espigas por área, refletindo assim no aumento da produtividade de grãos. Já Espindula et al. (2009), obtiveram redução na altura das plantas e na matéria seca de parte aérea das plantas de trigo com o incremento das doses de cloromequat, porém sem alterações na produtividade de grãos.

Campos (2005), em trabalhos com a aplicação de biorreguladores na cultura da soja, concluiu que estes podem ser excelentes ferramentas, podendo influenciar de forma positiva no número de ramificações, no florescimento, no número de vagens, no enraizamento, na área foliar e no teor de clorofila das folhas.

### 2.3.2 Uso de Biorreguladores de Plantas na Cultura do Milho

Estudos com o uso de biorreguladores de plantas são escassos para a cultura do milho. Isto se deve possivelmente pelo fato de que na maioria das vezes, os biorreguladores são utilizados visando reduzir a probabilidade de acamamento, fato esse cada vez mais raro no cultivo do milho devido há genótipos menos susceptíveis a este evento.

A maioria dos trabalhos que tratam de uso de biorreguladores na cultura do milho relatam o uso de compostos ou combinado destes voltados para alteração de efeitos hormonais (fisiológicos) e não com vistas à regulação de seu crescimento ou de suas característica morfológicas. Como exemplo pode-se citar os trabalhos realizados por Dourado Neto et al. (2004) e Ferreira et al. (2007), onde em ambos foram estudados os efeitos do bioestimulante Stimulate<sup>®</sup> (Citocinina + Ácido indol-butílico + Ácido giberélico) sobre a cultura do milho, sendo que somente o primeiro observou incrementos na produtividade de grãos.

Em se tratando de biorreguladores na cultura do milho, Moro e Castro (1984) observaram redução na altura de plantas de milho com a aplicação de 400 e 800 ppm de Etefom (2-chloroethylphosphonic acid).

Kasele et al. (1994) e Sagaral e Parrish (1990), salientam a possibilidade de que em condições de seca, o uso de biorreguladores pode reduzir a evapotranspiração na cultura do milho. Castro e Kluge (1999), afirmam que é de se esperar que a aplicação de biorreguladores de plantas que elevem a evapotranspiração em condições adequadas de suprimento de água, alterem positivamente o rendimento de grãos.

Em trabalho realizado por Guimarães et al. (2009), os autores estudaram duas épocas de aplicação e cinco doses de trinexapac-ethyl (0, 150, 225, 300, 375 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) na cultura do milho e constataram que as doses reduziram a altura das plantas e aumentaram o diâmetro do colmo, contudo, não foram observados benefícios em relação a massa de grãos por espigas, massa de mil grãos e produtividade.

Zagonel e Ferreira (2013), estudaram os efeitos de diferentes doses (0; 187,5; 375; 562,5 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) e épocas de aplicação (estádios V2, V4, V6 e V8) de trinexapac-ethyl em dois híbridos de milho onde observaram efeitos sobre a morfologia das folhas e os componentes de produção, não sendo observados efeitos sobre o porte das plantas e a produtividade de qualquer um dos híbridos.

### 2.3.3 Biorregulador de Plantas Trinexapac-ethyl

O trinexapac-ethyl é um dos biorreguladores que atua interferindo na biossíntese do ácido giberélico (HECKMAN et al., 2002). Este reduz drasticamente o nível do ácido giberélico ativo (GA1) por inibir a enzima 3β-hidroxiase, onde os baixos níveis de GA1 acabam por promover a baixa estatura das plantas (DAVIES, 1987).

Devido a sua forma de ação, o trinexapac-ethyl é muito utilizado em cereais de inverno promovendo a redução acentuada no comprimento do colmo, reduzindo assim a altura de plantas e evitando o acamamento (FARGERNESS; PENNER, 1998). A redução da susceptibilidade da cultura ao acamamento se deve não somente ao encurtamento dos entrenós mas também a maior densidade dos tecidos o que proporciona aumento na rigidez do caule (FERNANDES, 2009). De acordo com Penckowski (2009) a aplicação de trinexapac-ethyl em plantas de trigo promove incrementos nos teores de celulose nas células das plantas.

Na cultura do trigo, trabalhos tem demonstrado que mesmo na ausência de acamamento o trinexapac-ethyl promoveu aumentos de rendimento devido a modificação na arquitetura foliar das plantas, deixando essas mais compactas e com melhor aproveitamento da interceptação da radiação solar (FERNANDES, 2009).

Comumente, o uso de trinexapac-ethyl na cultura do trigo proporciona incrementos na produtividade de grãos, onde esses são atribuídos à

alteração na altura da planta e na sua arquitetura, bem como, à redução do acamamento (PENCKOWSKI et al., 2009). De acordo com Penckowski (2009) cerca de 15 à 20 dias após a aplicação de trinexapac-ethyl é possível observar os efeitos do biorregulador sobre a inclinação das folhas, deixando estas eretas, o que provavelmente resultará em melhor aproveitamento da radiação solar. O mesmo autor cita que trabalhos realizados com o uso de trinaxapac-etil e a simulação de diferentes níveis de sombreamento, mostrou que as plantas tratadas com o TE mudaram sua arquitetura foliar e puderam aproveitar melhor a radiação, o que resultou em ganhos significativos de produtividade.

Devido ao fato deste biorregulador proporcionar maior resistência das plantas ao acamamento, o seu uso tem permitido, em alguns casos, a aplicação de adubação nitrogenada mais elevada e, conseqüentemente, maior exploração da capacidade produtiva das plantas de trigo (PENCKOWSKI, 2009). Espindula et al. (2011) estudaram as interações entre doses de nitrogênio (N) e de trinexapac-ethyl na cultura do trigo e observaram que o uso do redutor em baixas doses de N reduziu o peso hectolítrico, a massa de mil grãos e a produtividade, porém, quando houve o incremento das doses de N, o uso do biorregulador foi benéfico a essas características. Os autores afirmam que essa resposta foi proporcionada pela redução do acamamento e mudanças na altura e arquitetura da planta, como folhas mais compactas e menos decumbentes (ESPINDULA et al., 2009), evitando o autossombreamento e aumentando a fotossíntese através da captura de luz.

Berti et al. (2007), estudaram as aplicações de doses de trinexapac-ethyl em diferentes estádios de desenvolvimento de quatro cultivares de trigo e observaram que independente da cultivar e da época em que o redutor foi aplicado houve incrementos na produtividade. Por outro lado, Contreras et al. (2012) observaram que o uso de trinexapac-ethyl além de reduzir a altura das plantas também reduziu sua produtividade independente da cultivar e do estágio onde o redutor foi aplicado. Os autores afirmam que a redução da produtividade se deve a redução do número de grãos por espiga e da massa de mil grãos.

O uso de trinexapac-ethyl em arroz de terras altas também resultou em incrementos na produtividade de grãos de algumas cultivares, bem como, reduziu a altura de plantas e a porcentagem de acamamento (ARF et al., 2012). Na mesma cultura, Nascimento et al. (2009) obtiveram redução da altura de plantas e acamamento, incrementos no número de colmos e panículas  $m^{-2}$  o que resultou em

plantas mais compactas e um melhor direcionamento de fotoassimilados para os grãos, incrementando a massa de 100 grãos, o peso hectolítrico e a produtividade.

Souza et al. (2013) observaram que o uso de trinexapac-ethyl na cultura da soja, principalmente nos estádios reprodutivos, provocou a retenção de fotossintatos nas demais partes da planta e conseqüente demora na translocação destes para os grãos, aumentando o ciclo de cultura e reduzindo a massa de mil grãos e o rendimento.

Este biorregulador é também comumente usado em gramados visando reduzir o crescimento, aumentar o comprimento das raízes e melhorar a tolerância a pouca luz (BUNNELL; MCCARTY, 2004). Estudos do uso de trinexapac-ethyl em várias espécies de gramas demonstraram que este pode promover a inibição do crescimento por um período de quatro a seis semanas (JOHNSON, 1997; FAGERNESS; PENNER, 1998; FREITAS et al., 2002). Costa et al. (2009) verificaram que a aplicação sequencial de trinexapac-ethyl reduziu a necessidade de corte em quatro espécies de gramas por um período de até 55 dias.

Diversas espécies de gramas quando tratadas com trinexapac-ethyl se tornam mais tolerantes ao sombreamento (QIAN et al., 1998; QIAN; ENGELKE, 1999; ERVIN; KOSKI, 2001; COSTA et al., 2010). De acordo com os autores, alterações promovidas na anatomia das folhas, como o aumento na concentração de clorofila em até 43%, podem acarretar em incrementos de até 50% na eficiência fotossintética, aumentando a tolerância ao sombreamento. Acréscimos nos teores de clorofila após o uso de trinexapac-ethyl também foram observados em grama azul (*Poa pratensis*) por Fan et al. (2009) e Wang et al. (2009) e em *Agrotis stolonifera* por McCann e Huang (2007).

Fialho et al. (2009) verificaram que o trinexapac-ethyl reduziu a comprimento da lâmina foliar e do entrenó, bem como a altura de plantas de *Brachiaria brizantha*, porém, não foi observado efeito sobre a largura da folha e do diâmetro do entrenó. Anatomicamente, foi observado aumento no diâmetro do xilema, floema e do córtex das plantas tratadas com trinexapac-ethyl, bem como a área das células e a espessura da lâmina foliar.

O uso de trinexapac-ethyl sobre espécies de *Cynodon* sp. evidenciaram aumento na massa de raízes, porém sem afetar seu comprimento, e o rendimento de corte deste tipo de capim (MCCULLOUGH et al., 2005).

Na cultura da cana-de-açúcar, além de reduzir o porte das plantas e

o acamamento, o trinexapac-ethyl também aumenta o rendimento de açúcar sem impacto negativo na qualidade do caldo, conteúdo de fibras e peso da cana (RESENDE et al., 2001; ZAGONEL; FERNANDES, 2007). Em cevada, segundo Amabile et al. (2004), o trinexapac-ethyl promove redução da severidade de manchas foliares e aumenta o rendimento de grãos da cultura.

McCann e Huang (2007) estudaram os efeitos do trinexapac-ethyl na espécie gramínea *Agrotis stolonifera* sob estresse por déficit hídrico e por altas temperaturas e, observaram que após 21 dias de estresse as plantas tratadas tinham aumentado sua taxa de crescimento e mantido a taxa fotossintética e a eficiência da fotossíntese. Porém, durante o mesmo período as plantas não tratadas apresentaram redução nestes parâmetros.

Na cultura do milho, estudos foram realizados com o trinexapac-ethyl por Guimarães et al. (2009) e Zagonel e Ferreira (2013), onde estes autores observaram efeitos do biorregulador principalmente sobre características morfológicas das plantas, não sendo observados benefícios sobre a produtividade da cultura. Contudo, estes autores trabalharam apenas com doses e épocas de aplicação do TE não avaliando a interação do biorregulador com outras técnicas de manejo da cultura como a adubação nitrogenada ou população de plantas.

### 3 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.L.; MEROTTO JÚNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.23-29, 2000.

ALMEIDA, M.L.; MUNDSTOCK, C.M.; SANGOI, L. Conceitos de ideotipo e seu uso no aumento do rendimento potencial de cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.2, p.325-332, 1998.

AMABILLE, R.F.; MINELLA, E.; VALENTE, C.M.W.; SERRA, D.D. **Efeito do regulador de crescimento Trinexapac-ethyl em cevada cervejeira irrigada em áreas de cerrado do Distrito Federal**. Platina: Embrapa Cerrados, 2004. 14p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 120).

ANDRADE, F.H.; VEJA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTARERO, M.; VALENTINUZ, O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v.39, n.2, p.453-459, 1999.

ARF, O.; NASCIMENTO, V.; RODRIGUES, R.A.F.; ALVAREZ, R.C.F.; GITTI, D.C.; SÁ, M.E. Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 150-158, 2012.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001a.

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

BALBINOT JÚNIOR, A.A.; FLECK, N.G. Benefícios e limitações da redução do espaçamento entre linhas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.5, n.1, p.37-41, 2005.

BALBINOT JÚNIOR, A.A.; FLECK, N.G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.245-252, 2004.

BARRET, J.E. Mechanisms of action, In: Tips on the use of chemical growth regulators on floriculture crops. Ohio, **Ohio Florists Association**, p.12-18. 1992.

BERNARDON, T. **Componentes da produtividade de grãos de milho (*Zea mays* L.) visando obter parâmetros para agricultura de precisão**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Geoinformação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2005.

BERTI, M.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Produtividade de cultivares de trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 127-134, 2007.

BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2334-2339, 2009.

BUNNELL, B.T.; MCCARTY, L.B. Sunlight requirements for ultradwarf bermudagrass greens. **Golf Course Management**, [s.l.], v.72, n.8, p.92-96, 2004.

CAMPOS, M.F. **Efeitos de reguladores vegetais no desenvolvimento de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2005. 126p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu. 2005.

CASA, R.T.; MOREIRA, E.N.; BOGO, A.; SANGOI, L. Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e rendimento de grãos em híbridos de milho submetidos ao aumento na densidade de plantas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, n.4, p.353-357, 2007.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz e mandioca**. São Paulo: Nobel, 1999. 126p.

CASTRO, P.R.C.; VIEIRA, E.L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 588p.

CONAB. COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2012/2013: décimo segundo levantamento, setembro de 2013**. Brasília, 2013. 28p.

CONTRERAS, R.L.G.; DUARTE, R.M.; DÍAZ, G.M.; CONTRERAS, F.R.; RAMIREZ, F.N. Effects of trinexapac-ethyl on different wheat varieties under desert conditions of Mexico. **Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 3, n 5, p. 658-662, 2012.

COSTA, N.V.; MARTINS, D.; RODELLA, R.A.; RODRIGUES, A.C.P.; CARDOSO, L.A. Características morfológicas de gramas em resposta à aplicação de trinexapac-ethyl. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 113-122, 2009.

COSTA, N.V.; MARTINS, D.; RODELLA, R.A.; RODRIGUES, A.C.P.; CARDOSO, L.A. Efeito do trinexapac-ethyl na anatomia foliar de quatro espécies de grama. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 551-560, 2010.

CRUZ, J.C.; PEREIRA, F.T.F.; PEREIRA FILHO, I.A.; OLIVEIRA, A.C.; MAGALHÃES, P.C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.1, p.60-73, 2007.

DAVIES, P.J. Introduction: The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. In: DAVIES, P.J. (ed.) **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!** 3.ed. Dordrecht: Springer, 2007. p.1-6.

DAVIES, P.J. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. In: DAVIES, P.J. **Plant hormones and their role in plant growth and development**. (ed.) Netherlands: Kluwer Academic, 1987, p.1-23.

DEMÉTRIO, C.S.; FORNASIERI FILHO, D.J.; CAZETTA, J.O.; CAZETTA, D.A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, p.1691-1697, 2008.

DEPARIS, G.A.; **Espaçamento, adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho**. 2006. 63f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Marechal Cândido Rondon-PR. 2006.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G.J.A.; VIEIRA JUNIOR, P.A.; MANFRON, P.A.; MARTINS, T.N.; BONNECARRÉRE, R.A.G.; CRESPO, P.E.N. Aplicação e influência do fitoregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.11, n.1, p.1-9, 2004.

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

DWYER, L.M.; TOLLERNAAR, M.; STEWART, D.W. Changes in plant density dependence of leaf photosynthesis of maize (*Zea mays* L.) hybrids, 1959 to 1988. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.71, n.1, p.1-11, 1991.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; FONTES, P.C.R.; SILVA, R.C.C.; SOUZA, L.T. Effect of nitrogen and trinexapac-ethyl rates on the SPAD index of wheat leaves. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 32, n. 11, p. 1956-1964, 2009.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, L.T.; SOUZA, M.A.; CAMPANHARO, M.; GROSSI, J.A.S. Rates of nitrogen and growth retardant trinexapac-ethyl on wheat. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2045-2052, 2011.

EMYGDIO, B.M.; TEIXEIRA, M.C.C. **Densidade de plantas e espaçamento entre linhas para o híbrido de milho BRS 1015**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 8p. (Circular Técnica, 72).

ERVIN, E.H.; KOSKI, A.J. Trinexapac-ethyl increases Kentucky bluegrass leaf cell density and chlorophyll concentration. **Hortscience**, New Brunswick, v. 36, n. 4, p. 787-789, 2001.

FAN, G.; BIAN, X.; LI, H.; MENG, Z.; LIU, S. Growth responses of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) to trinexapac-ethyl applied in spring and autumn. **Frontiers of Agriculture in China**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 186-189, 2009.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho** [s.l.], 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.

FARGERNESS, M.J. PENNER, D. Spray application parameters that influence the growth inhibiting effects of trinexapac-ethyl. **Crop Science**, Madison, n.38,p. 1028-1035, 1998.

FERNANDES, E.C. **População de plantas e regulador de crescimento afetando a produtividade de cultivares de trigo**. 2009. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-Pr, 2009.

FERREIRA, L.A.; OLIVEIRA, J.A.; VON PINHO, É.V.R.; QUEIROZ, D.L. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, vol.29, n.2, p.80-89, 2007.

FIALHO, C.M.T.; FERREIRA, E.A.; MEIRA, R.A.S.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; FREITAS, F.C.L.; GALON, L.; CONCENÇO, G. SILVA, A.F.; TIRONI, S.P.; ROCHA, P.R.R. Características morfoanatômicas de *Brachiaria brizantha* submetida à aplicação de trinexapac-ethyl. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 533-539, 2009.

FLESCH, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaçamentos e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, p.25-31, 2004.

FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 1.ed. Autor. Passo Fundo, 2004. 528p.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007, 574 p.

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; BARBOSA, J.G.; MIRANDA, G.V. Efeitos do trinexapac-ethyl sobre o crescimento e florescimento de grama batatais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 477-486, 2002.

GONÇALVES, M.L. **Desempenho agrônomo de híbridos de milho em função de espaçamentos e densidades populacionais em três locais**. 2008. 68p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon-PR, 2008.

GUIMARÃES, F.S.; ARF, O.; GITTI, D.C.; KANEKO, F.H.; VILELA, R.G. **Doses e época de aplicação de regulador de crescimento na cultura do milho**. XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP. São José do Rio Preto-SP. 2009. Disponível em: < [http://prope.unesp.br/xxi\\_cic/27\\_02000476120.pdf](http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_02000476120.pdf) > Acesso em: 21 maio 2012.

GUTIERREZ, M.A. **Microclima e características agrônomicas em diferentes espaçamentos e populações na cultura do milho**. 2010. 76p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal-SP, 2010.

HECKMAN, N.L.; ELTHON, T.E.; HORST, G.; GAUSSOIN, R.E. Influence of trinexapac-ethyl respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 2, p. 423-427, 2002.

HERTWIG, K.V. **Manual de herbicidas desfolhantes, dessecantes e fitorreguladores**. [s.l.], São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1992. 480p.

JOHNSON B. J. Growth of “Tifway” bermudagrass following application of nitrogen and iron with trinexapac-ethyl. **Hortscience**, New Brunswick, v. 32, n. 2, p. 241-242, 1997.

JOHNSON, G.A.; HOVERSTAD, T.R.; GREENWALD, R.E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.1, p.40-46, 1987.

KANEKO, F.H.; ARF, O.; GITTI, D.C.; ARF, M.V.; CHIODEROLI, C.A.; KAPPES, C. Manejo do solo e do nitrogênio em milho cultivado em espaçamento reduzido e tradicional. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.3, p.677-686, 2010.

KAPPES, C. **Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas**. 2010. 125 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010.

KAPPES, C.; ANDRADE, J.A.C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A.C.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P. Arranjo de plantas para diferentes híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.348-359, 2011.

KASELE, I.N.; NYIRENDA, F.; SHANAHAN, J.F.; NIELSEN, D.C.; DÁNDRIA, R.

Ethephon alters corn growth, water use, and grain yield under drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, n.2, p.283-288, 1994.

LOZADA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 37-43, 1999.

MAGALHÃES, P.C.; PAIVA, E. Fisiologia da produção de milho. In: CRUZ, J.C.; MONTEIRO, J.A.; SANTANA, D.P.; GARCIA, J.C.; BAHIA, F.G.F.T.C.; SANS, L.M.A.; PEREIRA FILHO, I.A. (Eds.). **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa-SPI. 1997. p.85-92.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; DUARTE, J.B.; GUIMARÃES, C.M.; GOMES, J.A. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n.2, p.93-101, 2005.

MATYSIAK, K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v.46, n.2, p.133-143, 2006.

MCCANN, S.; HUANG, B. Effects of trinexapac-ethyl foliar application on creeping bentgrass responses to combined drought and heat stress. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 2121-2128, 2007.

MCCULLOUGH, P.E.; LIU, H.; MCCARTY, L.B. Response of six dwarf-type bermudagrasses to trinexapac-ethyl. **Hortscience**, New Brunswick, v. 40, n. 2, p. 460-462, 2005.

MORO, J.R.; CASTRO, P.R.C. Ação de reguladores vegetais na morfologia e produtividade do milho (*Zea mays* L.). **Revista de Agricultura**, [s.l.], v.59, n.3, p.301-311, 1984.

MUNDSTOCK, C.M.; SILVA, P.R.F. **O cultivo do milho para altos rendimentos**. [s.l.], Revista SEED News. Disponível em: <http://www.seednews.inf.br/portugues/seed103/artigocapa103.shtml>. Acesso: em 25 de fev de 2007.

NAGASHIMA, G.T.; MIGLIORANZA, É.; MARUR, C.J.; YAMAOKA, R.S.; GOMES, J.C. Embebição de sementes e aplicação foliar com cloreto de mepiquat no crescimento e produção do algodoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1027-1034, 2007.

NASCIMENTO, V.; ARF, O.; SILVA, M.G.; BINOTTI, F.F.S.; RODRIGUES, R.A.F.; ALVAREZ, R.C.F. Uso de regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 921-929, 2009.

NUMMER FILHO, I.; HENTSCHEKE, C.W. Redução de espaçamento entre linhas na cultura do milho. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.92, 2006.

OTTMAN, M.J.; WELCH, L.F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, n.81, p.167-174, 1989.

- PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 107p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.
- PAULO, E.M.; ANDRADE, J.A.C. Comportamento de um milho híbrido hiperprecoce em dois espaçamentos e diferentes populações de plantas. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.12, n.1, p.77-88, 2003.
- PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.2, p.56-60, 2003.
- PENCKOWSKI, L.H. **Utilizando regulador de crescimento na cultura do trigo: Aspectos importantes para garantir bons rendimentos**. 2.ed. Passo Fundo: Fundação ABC. 2009, 60p.
- PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v.31, n.3, p. 473-479, 2009.
- QIAN, Y.L. ENGELKE, M.C.; FOSTER, M.J.V.; REYNOLDS, S. Trinexapac-ethyl restricts shoot growth and improves quality of “Diamond” zoysiagrass under shade. **Hortscience**, New Brunswick, v. 33, n. 6, p. 1019-1022, 1998.
- QIAN, Y.L.; ENGELKE, M.C. Influence of trinexapac-ethyl on diamond zoysiagrass in a shade environment. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 1, p. 202-208, 1999.
- RADEMACHER, W. **Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways**. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol., [s.l.], 51:501-531, 2000.
- REDDY, V.R.; REDDY, K.R.; HODGES, H.F. Temperature and mepiquat chloride effects on cotton canopy architecture. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.2, p. 190-195, 1990.
- REZENDE, R.; FREITAS, P.S.L.; MANTOVANI, E.C.; FRIZZONE, J.A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 503-511, 2004.
- RESENDE, P.A.P.; SOARES, J.E.; HUDETZ, M. Moddus, a plant growth regulator and management tool for sugarcane production in Brasil. **International Sugarcane Journal** [s.l.], v.103, p.2-6, 2001.
- RIZZARDI, M.A.; BOLLER, W.; DALLOGLIO, R. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.8, 1994.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; TEIXEIRA, C.C.M.; ROMAM, S.E. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo: Embrapa (Circular Técnica n. 14), 2003.

SAGARAL, E.G.; PARRISH, D.J. **Effects of ethephon and trigger on the growth and yield of corn**. Annual meeting of the plant growth regulation society of America, [s.l.], v.17, 1990. 123p.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.2, 2001.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; GRACIETTI, M.A.; BIANCHET, P. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciência Agroveterinárias**, Lages, v.1, n.2, p.60-66, 2002.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; ALMEIDA, M.L.; HEBERLE, P.C. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.6, p.861-869, 2001.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; BOGO, A.; KOTHE, D.M. Incidência e severidade de doenças de quatro híbridos de milho cultivados com diferentes densidades de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.17-21, 2000.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P.R.F.; SCHMITT, A.; VARGAS, V.P.; CASA, R.T.; SOUZA, C.A. Prefilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46., n.6, p. 609-616, 2011.

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

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Editora Graphel, 2007. 95p.

SILVA, P.R.F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 64p.

SOUZA, C.A.; FIGUEIREDO, B.P.; COELHO, C.M.M. CASA, R.T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade de soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 3, p. 634-643, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4<sup>a</sup> ed. Editora Artmed. 2009. 820p.

TEASDALE, J.R. Influence of narrow row/high population corn (*Zea mays* L.) on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, Lawrence, v.9, n.1, p.113-118, 1995.

TOLLENAAR, M.; AGUILERA, A.; NISSANKA, S.P. Grain yield is reduced more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.2, p.239-246, 1997.

- TOLLENAAR, M.; DWER, L.M.; STEWART, D.W. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**, Madison, v.32, n.2, p.432-438, 1992.
- TOLLENAAR, M.; McCULLOUGH, D. E.; DWYER, L.M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G.A. (Ed.). **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.183-236.
- TREHARNE, K.J.; CHILD, R.D.; ANDERSON, H.; HOAD, G.H. Growth regulation of arable crops. **Plant growth substances**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. P.343-374.
- USDA: United States Department of Agriculture. **World agricultural production**. [s.l.], Setembro – 2013, 26p. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 28 de out de 2013.
- VIEIRA, E.L.; CASTRO, P.R.C. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, vol. 23, n 2, p. 222-228, 2001.
- WANG, X.; HU, T.; WANG, Q.; TIAN, L.; ZHANG, X.; TIAN, K. Growth of Kentucky bluegrass as influenced by nitrogen and trinexapac-ethyl. **Agricultural Science in China**, [s.l.], v. 8, n. 12, p. 1498-1502, 2009.
- ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.2, p.331-339, 2007.
- ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Doses e época de aplicação de regulador de crescimento em híbridos de milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 395-402, 2013.

#### 4 ARTIGO A

### CARACTERÍSTICAS DE PARTE AÉREA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM CULTIVARES DE MILHO SUBMETIDO À VARIAÇÃO POPULACIONAL ASSOCIADA À BIORREGULADOR DE PLANTAS

#### RESUMO

O uso de biorreguladores de plantas pode alterar a morfologia das plantas de milho, acrescentando produtividade à cultura. O trabalho objetivou avaliar os efeitos de populações de plantas e doses de trinexapac-ethyl (TE) sobre as características da parte aérea e a produtividade de grãos de cultivares de milho com arquitetura de plantas contrastantes. Experimentos foram conduzidos a campo nas safras 2010/11 e 2011/12, em esquema fatorial (5 x 5), sendo cinco populações de plantas (40, 60, 80, 100 e 120 mil plantas ha<sup>-1</sup>) e cinco doses de TE (0, 100, 200, 300 e 400 g de i.a. ha<sup>-1</sup>), aplicados no estágio V6, com quatro repetições. Foram utilizados os híbridos 2B710 HX (folha plana) e Status TL (folha ereta). Foram avaliadas a altura de plantas, a altura de inserção da espiga, o diâmetro do colmo, o índice de área foliar e a produtividade de grãos. O incremento na população aumenta a altura de plantas, de inserção de espiga e o índice de área foliar e reduz o diâmetro do colmo. O uso do biorregulador TE reduz a altura de plantas e de inserção de espigas. A interação de população de plantas e aplicação de TE favorece a produtividade do milho, com as maiores produtividades de grãos observadas nas combinações de 93,4 mil plantas ha<sup>-1</sup> com a dose de 176 g i.a. ha<sup>-1</sup> de TE para o híbrido 2B710 HX e 92,2 mil plantas ha<sup>-1</sup> com a dose de 251 g i.a. ha<sup>-1</sup> de TE para o híbrido STATUS TL.

**Palavras-chave:** Autossombreamento. Trinexapac-ethyl. Arranjo de plantas. Giberelinas. *Zea mays* L.

## ABSTRACT

The use of reducing growth can alter the morphology of corn plants, adding to the crop productivity by the possibility of increasing plant population. The study aimed to evaluate the effects of plant populations and rates of ethyl-trinexapac (TE) reducing plant on the characteristics of the shoots and grain yield of maize cultivars with contrasting architecture of plants. Field experiments were carried out in 2010/11 and 2011/12 seasons, factorial (5 x 5), five plant populations (40, 60, 80, 100 and 120 000 plants ha<sup>-1</sup>) and five ethyl-trinexapac rates (0, 100, 200, 300 and 400 g ai ha<sup>-1</sup>) applied at V6 stage, with four replications. Hybrid cultivars 2B710 HX (flat sheet) and Status TL (upright leaf), grown in reduced spacing (0.45m) were used. The plants height, height ear insertion height, stem diameter, leaf area index and grain yield. The increase in population enhances the plant height, the insertion of the ear and the leaf area index and stem diameter reduced. The use of ethyl-trinexapac reduces plants height and ear insertion height as increasing doses, allowing the use of higher plant density. The interaction of plant population and application of ethyl-trinexapac favors the productivity of maize, with varying responses according to the genotype and growing environment. The highest grain yields were observed in combinations of 93.400 plants ha<sup>-1</sup> at the dose of 176 g ai ha<sup>-1</sup> ethyl-trinexapac for hybrid 2B710 HX and 92.200 plants ha<sup>-1</sup> at the dose of 251 g ai ha<sup>-1</sup> for the hybrid STATUS TL.

**Keywords:** Self-shading. Plant Morphology. Plant Arrangement. Reduction of growth. *Zea mays* L.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O cenário mundial tem demonstrado aumento constante no consumo de milho (*Zea mays* L.) nos últimos anos (USDA, 2013), principalmente para consumo humano, ração animal e produção de biocombustíveis. Desta forma, para suprir esta demanda e manter o equilíbrio dos estoques mundiais se faz necessário o aumento na produção do grão.

Modernas técnicas de manejo tem proporcionado o aumento na produtividade de grãos na cultura do milho, onde as de melhores resultados são aquelas que favorecem o máximo aproveitamento de recursos do meio pela cultura (ZAGONEL; FERREIRA, 2013).

O milho é uma das espécies mais eficientes na conversão de energia radiante em fitomassa (SANGOI et al., 2007). Assim, a densidade de plantas e o espaçamento entre linhas são considerados fatores fundamentais para otimizar a exploração do ambiente, já que permitem ajustar a cultura a disponibilidade de radiação solar da região ou da época de cultivo (SANGOI; SILVA, 2006).

O uso de maiores densidades de plantas em espaçamento reduzido permite maior interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, promovendo maior rendimento de grãos (MARCHÃO et al. 2005). Por outro lado, o uso de maiores densidades de plantas comumente esbarra na tendência da cultura ao acamamento (KAPPES et al. 2011) e ao autossombreamento das plantas, o que pode reduzir a produtividade.

Os programas de melhoramento tem se esforçado para desenvolver genótipos adaptados a altas densidades de plantas (CRUZ et al. 2007), os quais se apresentam mais precoces e compactos, com baixa estatura e folhas mais eretas (PIANA et al., 2008). No entanto, nem sempre esses cultivares estão disponíveis ou são adaptados à região de cultivo.

Uma das alternativas para minimizar os efeitos indesejados ocasionados pelo incremento na população de plantas, principalmente em cultivares não adaptados, é o uso de biorreguladores de plantas. Os biorreguladores atuam na fisiologia das plantas, alterando características da arquitetura foliar e reduzindo sua altura com o objetivo de facilitar tratamentos culturais, reduzir a propensão ao acamamento, maximizar a absorção da radiação solar e assim, aumentar a produtividade (ZAGONEL; FERNANDES, 2007; ZAGONEL; FERREIRA, 2013).

Um destes biorreguladores é o trinexapac-ethyl (TE), o qual atua inibindo a biossíntese da giberelina, que é responsável pela divisão e alongação celular. Seu uso na cultura do trigo proporciona redução da altura das plantas (ESPINDULA et al., 2011; CONTRERAS et al., 2012) e na massa seca de parte aérea (ESPINDULA et al. 2009b) e também incrementos no diâmetro de colmo (BERTI et al. 2007; ZAGONEL; FERNANDES, 2007).

Estudos com a cultura do trigo indicam que o uso do TE altera a arquitetura foliar das plantas permitindo maior aproveitamento da radiação incidente, e conseqüentemente, proporciona acréscimos em produtividade (MATYSIAK, 2006; ZAGONEL; FERNANDES, 2007; PENCKOWSKI et al., 2009). Em cultivo de arroz os resultados são semelhantes, sendo observada redução na altura de plantas e incremento na produtividade de grãos (ARF et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2009).

Na cultura do milho, o TE vem sendo avaliado experimentalmente. Zagonel e Ferreira (2013), estudaram os efeitos de diferentes doses e épocas de aplicação de TE em dois híbridos de milho e observaram incremento no diâmetro de colmo e no índice de área foliar com o uso do TE, não sendo observado efeito sobre a produtividade de grãos. Contudo, os autores trabalharam apenas com doses e épocas de aplicação do biorregulador, não avaliando a interação deste com outras técnicas de manejo da cultura, como o arranjo de plantas.

A adoção de técnicas alternativas, como o uso de biorregulador TE pode alterar a morfologia das plantas de milho, principalmente as com maior estatura e folhas mais planas, minimizando os efeitos indesejados ocasionados pelas altas densidades, aumentando a produtividade pelo incremento da população de plantas.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de populações de plantas e doses do biorregulador trinexapac-ethyl sobre as características da parte aérea das plantas e a produtividade de grãos de cultivares de milho com arquitetura de plantas contrastantes

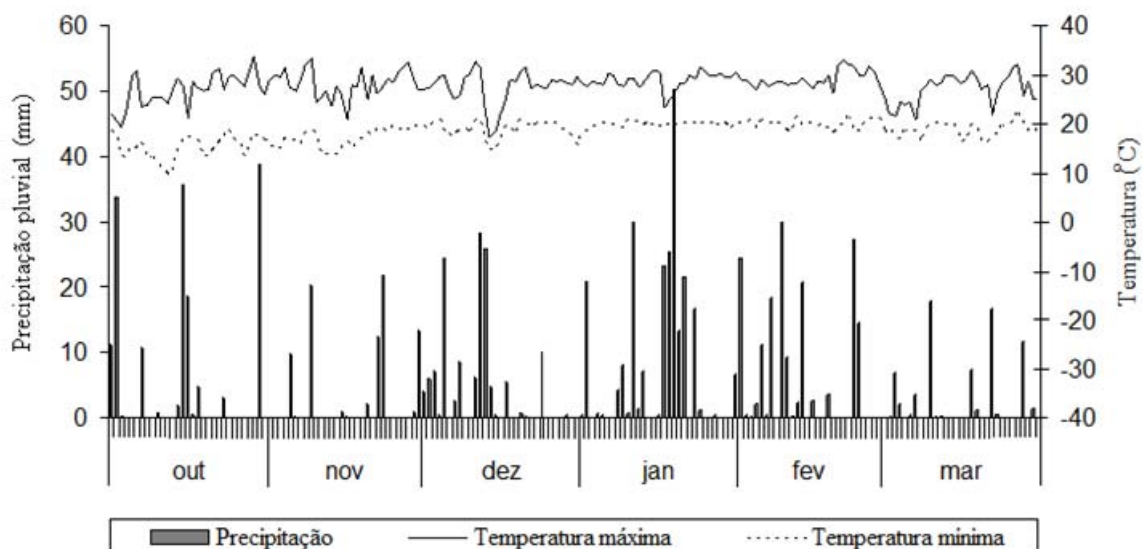
## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em duas safras agrícolas. Na safra 1 (2010/2011), o experimento foi instalado na Fazenda Mirante no município de Cambé-PR (23°03'25" S e 51°17'53" W, altitude - 490m) e na safra 2 (2011/2012), na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL) (23°20'32" S e 51°12'32" W, altitude -

540 m). Os solos dos locais são caracterizados respectivamente como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) e Latossolo Vermelho distroférrico (LVd), (EMBRAPA, 2006).

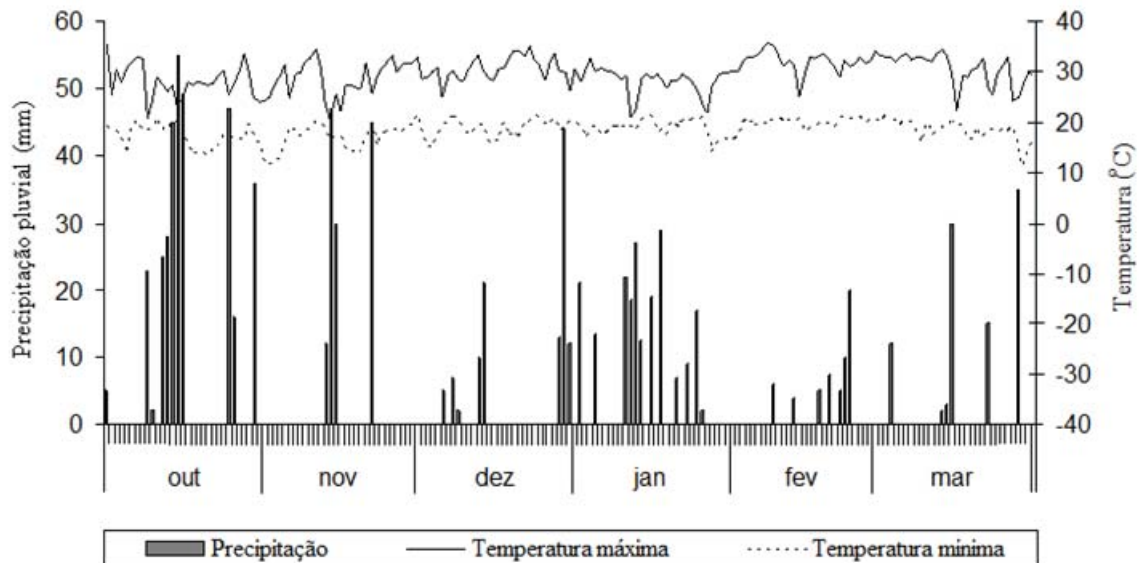
Os dados referentes a precipitação pluvial e temperaturas médias máximas e mínimas, observadas nos períodos experimentais, foram obtidas das estações meteorológicas situadas na Embrapa Soja em Londrina-PR (2010/2011) e na sede do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR em Londrina-PR (2011/2012), e são demonstrados nas Figuras 4.1 e 4.2, respectivamente.

**Figura 4.1** – Dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas diárias referentes a safra de cultivo 2010/2011, Cambé-PR.



Nas áreas experimentais preconiza-se o sistema de semeadura direta. Previamente a instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo das áreas experimentais, na camada de 0 a 0,20 m, para análise química, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.1.

**Figura 4.2** – Dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas diárias referentes a safra de cultivo 2011/2012, Londrina-PR.



**Tabela 4.1** – Características químicas do solo das áreas experimentais localizadas em Cambé-PR (2010/2011) e Londrina-PR (2011/2012).

Características	Valores	
	Cambé-PR	Londrina-PR
pH em CaCl <sub>2</sub>	5,29	5,26
P (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	9,07	9,08
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	0,38	0,30
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), KCl 1mol L <sup>-1</sup>	5,93	4,28
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), KCl 1mol L <sup>-1</sup>	1,57	1,05
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), KCl 1 mol L <sup>-1</sup>	0,00	0,00
H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), método SMP	4,09	3,37
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ), CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	8,52	2,83
Manganês (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	140,03	81,21
Ferro (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	48,91	34,60
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	14,46	14,46
Zinco (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	7,78	3,03
Boro (mg dm <sup>-3</sup> ), HCl 0,05N	0,84	0,72
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,88	5,63
V (%)	66,74	62,53
Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	26,19	14,24
Nitrogênio total (g dm <sup>-3</sup> )	1,31	0,71
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12,3	9,00
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,21	5,83

Análises realizadas pelo Laboratório LABORSOLO, Londrina-PR.

As parcelas experimentais foram constituídas por 6 linhas de 6 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, considerando como área útil as 4 linhas centrais com 5 m de comprimento, totalizando 9 m<sup>2</sup>.

Os experimentos, nas duas safras, foram instalados em delineamento de blocos completos, com tratamentos casualizados, no esquema fatorial 5 x 5, com quatro repetições. Foram estudadas cinco populações de plantas de milho (40, 60, 80, 100 e 120 mil plantas ha<sup>-1</sup>) com cinco doses de trinexapac-ethyl (0, 100, 200, 300 e 400 g de i.a. ha<sup>-1</sup>). O TE foi obtido através do produto comercial Moddus<sup>®</sup> que possui concentração de 250 g de i.a. L<sup>-1</sup>. Em cada safra foram realizados dois experimentos com cultivares de arquitetura foliar distintas (2B710 HX/Plana e STATUS TL/Ereta), semeadas em áreas paralelas.

A adubação de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) na semeadura foi realizada conforme os resultados da análise de solo, seguindo as indicações técnicas da Circular Técnica 78 (Nutrição e Adubação no Milho) (COELHO, 2006). Desta forma, foi utilizado no experimento da safra 1 a adubação de semeadura com o formulado 14-34-20 (N-P-K) na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> e no experimento da safra 2 o formulado 10-25-16 (N-P-K) na dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada entre os estádio V4 e V6 (RITCHIE et al., 2003) na dose de 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, utilizando como fonte a uréia comum (45%).

A semeadura foi realizada com cerca de 144.000 sementes ha<sup>-1</sup>, nas datas de 12 de outubro de 2010 e 19 de outubro de 2011, dentro do período estabelecido pelo zoneamento agrícola da cultura do milho (EMBRAPA, 2011). Cerca de 20 dias após a semeadura foi realizado o desbaste manual das plântulas, conforme a densidade populacional previamente definida.

O biorregulador de plantas, foi aplicado via foliar com o uso de pulverizador costal pressurizado (CO<sub>2</sub>), equipado com ponta de pulverização tipo leque duplo com indução de ar, pressão e vazão constante de 150 L ha<sup>-1</sup>. A aplicação foi realizada no estádio V6, segundo escala proposta por Ritchie et al. (2003).

Foram realizados os tratos culturais e o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças de acordo com as recomendações do Sistema de Produção da Cultura do Milho (EMBRAPA, 2011).

As avaliações foram realizadas após o florescimento pleno da

cultura, onde foram tomadas dez plantas ao acaso dentro da área útil das parcelas e avaliadas a altura de plantas e de inserção de espigas (cm), realizadas por meio da aferição da distância entre a superfície do solo e base do pendão e da espiga principal, respectivamente. As mesmas dez plantas foram utilizadas para avaliação do diâmetro de colmo (mm), o qual foi aferido com auxílio de paquímetro no terço mediano do segundo internódio, a partir da base da planta, no sentido do menor diâmetro.

O índice de área foliar (IAF), expresso em m<sup>2</sup> de folha por m<sup>2</sup> de superfície de solo, foi estimado após o florescimento pleno da cultura com base na aferição do comprimento total (C) e largura do terço médio (L) das folhas fotossinteticamente ativas de oito plantas em cada parcela. Os dados foram submetidos à seguinte expressão, proposta por Francis (1969):  $IAF = \frac{(0,75 * C * L)}{(e1 * e2)}$ , em que e1 e e2 referem-se ao espaçamento entre plantas (em m) na linha de semeadura e entre as linhas, respectivamente.

A determinação da produtividade de grãos foi realizada pela colheita das espigas da área útil da parcela, sendo realizada a debulha e pesagem dos grãos com massa corrigida para umidade de 130 gramas de água por quilograma de grão, sendo esta expressa em kg ha<sup>-1</sup>.

Os dados foram analisados através da metodologia superfície de resposta partindo do modelo inicial de segunda ordem:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j>i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

$\uparrow$   
 Efeito linear

$\uparrow$   
 Efeito quadrático

$\uparrow$   
 Efeito da interação

Onde:  $y$  – variável dependente,  $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$  – parâmetros do modelo,  $k$  – número de variáveis independentes,  $X_i, X_j$  – variáveis independentes (população de plantas e doses de TE)

Para realização das análises e confecção dos gráficos foi utilizado o programa STATISTICA 12<sup>®</sup>.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

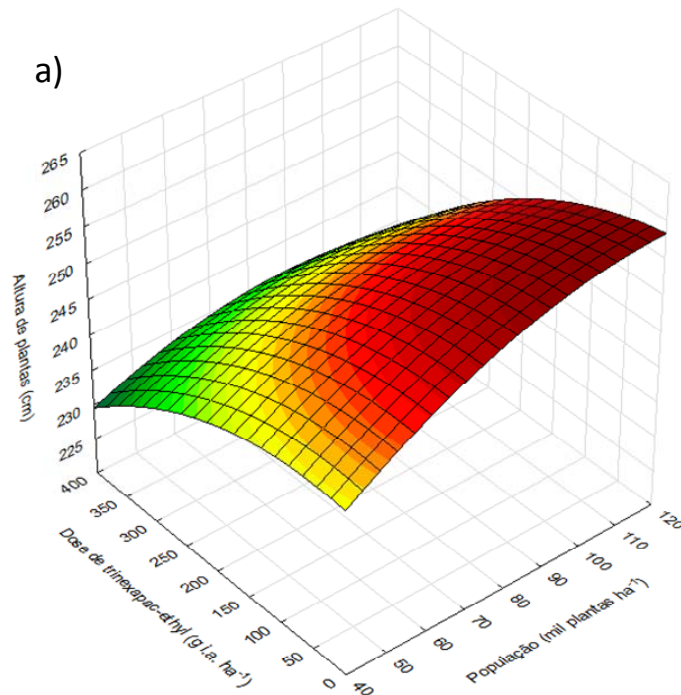
A análise dos resultados foi realizada separadamente para cada cultivar, assim como proposto por Zagonel e Ferreira (2013), pois o mesmo afirma que a recomendação não pode ser ampla para uma cultura que apresenta grande variedade de cultivares. Zagonel e Fernandes (2007) afirmam ainda que a tendência é de se realizar o manejo do milho por cultivar, assim como é feito com o TE na cultura do trigo, adequando-se a dose à resposta da produtividade do material.

As alturas de plantas e de inserção de espigas do híbrido 2B710 HX na safra 1 apresentaram interação significativa entre os fatores população de plantas e doses de TE (Figura 4.3). O aumento da população de plantas incrementou ambas as variáveis para todas as doses de TE. As maiores alturas de planta (258,6 cm) e de inserção de espiga (144,7 cm) foram observadas com a associação da maior população de plantas estudada (120 mil plantas ha<sup>-1</sup>) e a ausência do biorregulador (Figura 4.3).

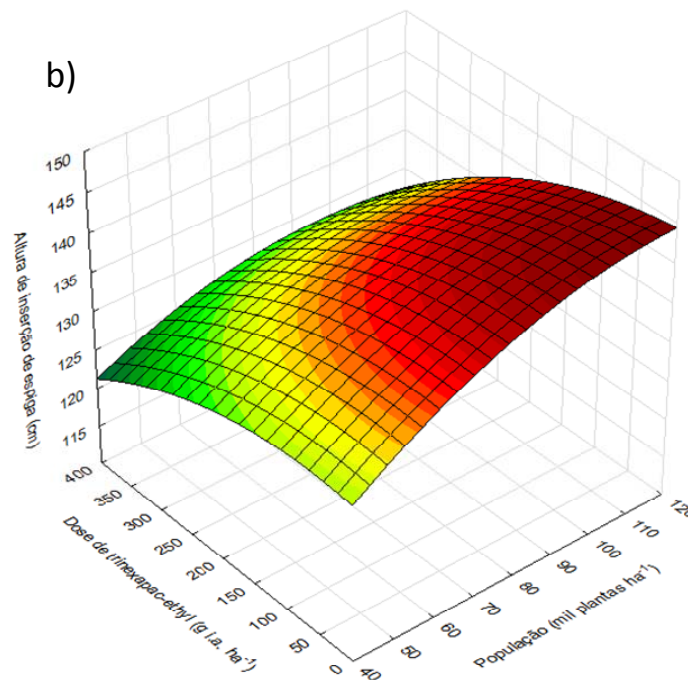
O uso do biorregulador de plantas reduziu a altura de plantas e de inserção de espiga em todas as populações, sendo maior a redução conforme o aumento das doses do TE (Figura 4.3). Conforme o incremento das doses de TE, os pontos de máxima altura de plantas e de inserção de espigas foram observados em populações de plantas inferiores a 120 mil plantas ha<sup>-1</sup>, sendo essas menores conforme o incremento das doses de TE. Desta forma, quando do uso da maior dose (400 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) as maiores alturas de plantas (235,8 cm) e de inserção de espigas (128,6 cm) foram observadas nas populações de 92,4 e 99,0 mil plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A redução da altura de plantas e de inserção de espigas proporcionada com o incremento das doses do TE se mostrou mais acentuada nas maiores populações. A redução da altura de plantas e da inserção de espigas na maior população de plantas (120 mil plantas ha<sup>-1</sup>), foram cerca de 77 e 93% maiores, em comparação a redução observada na menor população (40 mil plantas ha<sup>-1</sup>), respectivamente. O grande número de plantas por área aumenta a competição destas por luz o que proporciona um maior crescimento do colmo (SANGOI et al. 2002). Assim, o uso do TE em altas populações apresenta maior redução na altura das plantas quando comparado ao seu uso em baixas populações, onde a competição e o estiolamento do colmo são menos estimulados.

**Figura 4.3** – Altura de plantas (a) e de inserção de espiga (b) do híbrido 2B710 HX na safra 1, em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 224,65 + 0,5593 * P + 0,0248 * TE - 0,0023 * P^2 - 0,1147e^{-3} * TE^2 - 0,3361e^{-3} * (P * TE) \quad R^2 = 0,83$$



$$\hat{Y} = 112,68 + 0,5188 * P + 0,0213 * TE - 0,0021 * P^2 - 0,8250e^{-4} * TE^2 - 0,2569e^{-3} * (P * TE) \quad R^2 = 0,78$$

Tomando como base a população de 65 mil plantas ha<sup>-1</sup>, população recomendada pela empresa detentora da variedade (Dow Agrosience®) foram

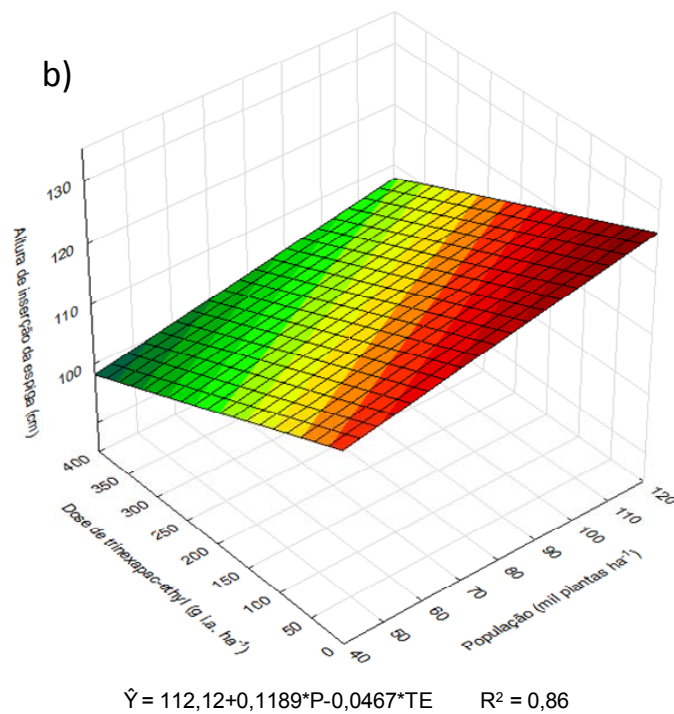
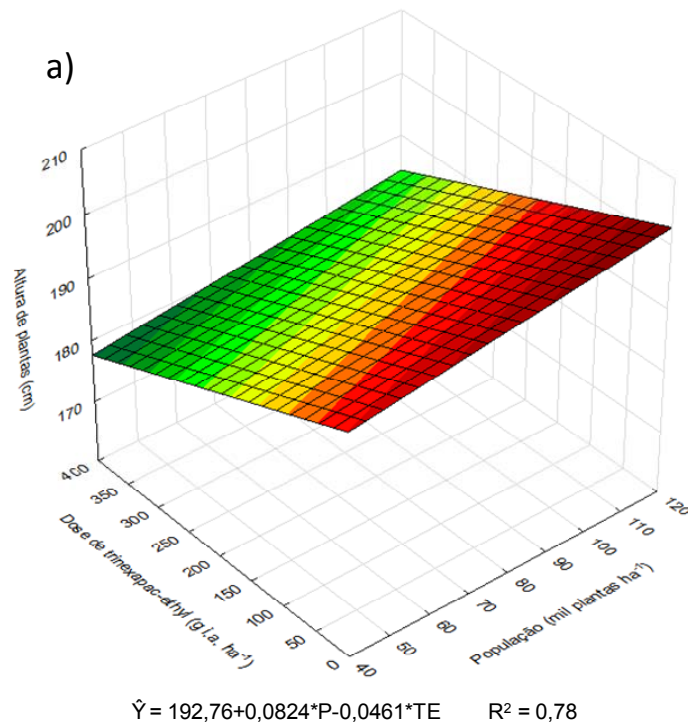
observadas, na ausência do TE, alturas de planta e inserção de espiga de 251,3 e 137,5 cm, respectivamente. Porém, a redução das características nessa população com a maior dose de TE (400 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) chegaram a 17,2 e 11,4 cm, respectivamente. Quando o híbrido foi submetido a doses de TE superiores a 250 g de i.a. ha<sup>-1</sup>, todas as populações de plantas estudadas acima de 65 mil plantas ha<sup>-1</sup> apresentaram alturas de planta e espiga inferiores a observada na população recomendada sem o uso do TE.

O híbrido 2B710 HX apresentou resposta semelhante da altura de plantas e inserção de espigas ao incremento da população de plantas, já que em ambas as safras as maiores alturas foram observadas com a maior população de plantas (120 mil plantas ha<sup>-1</sup>) na ausência do TE. No entanto, na safra 2 não foi observado interação entre os fatores estudados, sendo que o aumento da população de plantas promoveu o incremento linear da altura das plantas e da inserção de espigas e, o biorregulador TE reduziu estas variáveis conforme o aumento da dose utilizada (Figura 4.4).

Na safra 2 o híbrido 2B710 HX na população de 65 mil plantas ha<sup>-1</sup> apresentou alturas de planta e inserção de espiga de 198,1 e 119,8 cm, respectivamente. No entanto, quando as plantas foram submetidas a maior dose de TE (400 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) as alturas reduziram em 18,5 e 18,7 cm para altura de plantas e de inserção de espiga, respectivamente (Figura 4.4). Todas as populações de plantas quando submetidas a doses de TE superiores a 150 g de i.a. ha<sup>-1</sup> apresentaram altura de plantas e inserção de espiga inferiores ao observado com 65 mil plantas ha<sup>-1</sup> na ausência do TE.

Estes resultados demonstram que o emprego do biorregulador de crescimento possibilita o uso de maiores populações de plantas sem que a competição intraespecífica promova o crescimento excessivo do colmo, o que pode prejudicar a lavoura devido a maior predisposição ao acamamento e quebraimento de colmo, bem como, maior autossombreamento das plantas.

**Figura 4.4** – Altura de plantas (a) e de inserção de espiga (b) do híbrido 2B710 HX na safra 2, em resposta as populações de plantas e doses de TE.



Para o híbrido STATUS TL cultivado na safra 1 não foi observada interação entre os fatores estudados sobre as variáveis altura de plantas e inserção de espigas, sendo que estas apresentaram incremento quadrático ao aumento da população de plantas e redução linear com o incremento das doses de TE (Figura 4.5).

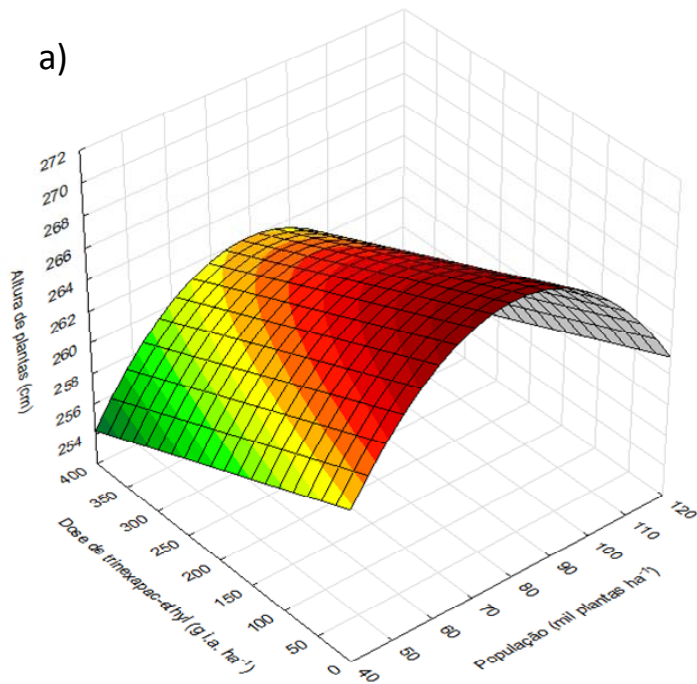
As maiores alturas de plantas e de inserção de espigas foram observadas na ausência do TE, onde os pontos de máxima altura de 269,6 e 169,35 cm foram observados com as populações de 79,2 e 90,2 mil plantas  $ha^{-1}$ , respectivamente (Figura 4.5). O incremento nas doses de TE reduziu a altura de plantas e de inserção de espigas, onde as maiores reduções (7,56 e 7,44 cm, respectivamente) foram observadas na maior dose empregada (400 g de i.a.  $ha^{-1}$ ).

A altura de plantas e de inserção de espigas do híbrido Status TL cultivado na safra 2 não apresentaram respostas aos fatores estudados. A precipitação pluviométrica observada no período compreendido entre 23 de novembro e 28 de dezembro representou um somatório de 46,2 mm, portanto, abaixo do necessário para o adequado desenvolvimento da cultura que nesse período seria de cerca de 210 mm de acordo com Radin et al. (2003). Como esse período coincidiu com os estádios de desenvolvimento da cultura (V7 à V15), onde o crescimento e alongamento do caule é intenso, este estresse pode ter restringido o crescimento vegetativo do cereal, não proporcionando condições para que os efeitos do incremento da população de plantas e das doses de TE fossem observados. A ausência de efeitos do TE sobre a altura de plantas e de inserção de espigas no híbrido STATUS TL também foram observados por Zagonel e Ferreira (2013).

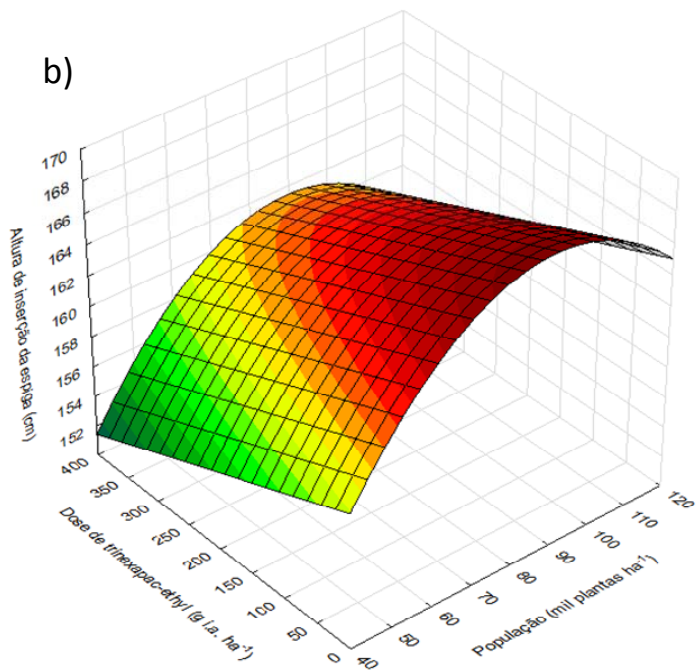
A variação de resposta da altura de plantas e de inserção de espigas entre cultivares e safras para o incremento na população se deve a sensibilidade do milho à variação de densidade de plantas (CRUZ et al., 2007). A definição da população ideal se baseia na disponibilidade hídrica, na fertilidade do solo, no ciclo e características de arquitetura da cultivar, na época de semeadura e no espaçamento entre linhas (SANGOI et al., 2001), em que essa gama de fatores pode ter influenciado a resposta destas características aos fatores estudados.

De acordo com Sangoi et al. (2002), a maior altura de plantas e de inserção de espiga com o aumento na população de plantas, como verificado neste estudo, se deve a maior competição intraespecífica das plantas pela luz, o que leva a um maior desenvolvimento e alongação do colmo em busca de luz na parte superior do dossel, com variações de resposta em função do ambiente e genótipos. Portanto, a redução de altura proporcionada pelo TE se mostra como um importante fator de manejo, principalmente para híbridos de porte alto.

**Figura 4.5** – Altura de plantas (a) e de inserção de espiga (b) do híbrido STATUS TL na safra 1, em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 237,65 + 0,8081 * P - 0,0189 * TE - 0,0051 * P^2 \quad R^2 = 0,79$$



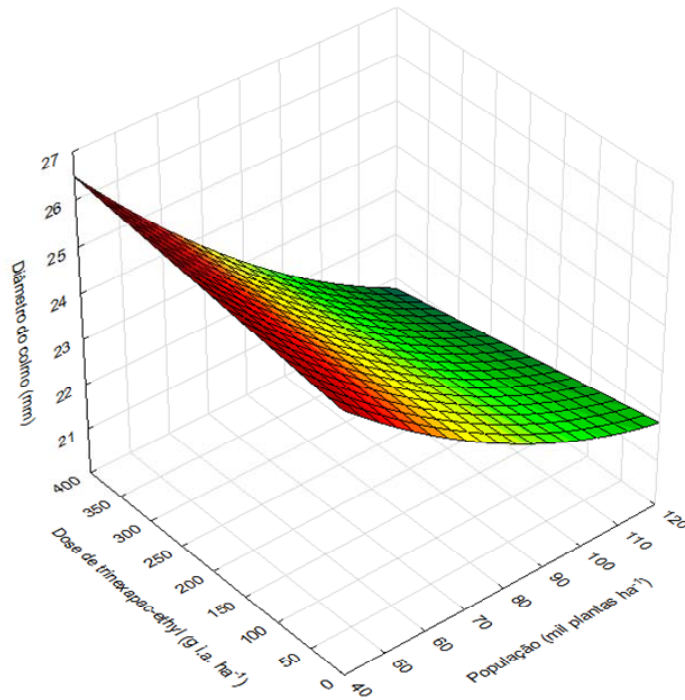
$$\hat{Y} = 135,94 + 0,7402 * P - 0,0186 * TE - 0,0041 * P^2 \quad R^2 = 0,77$$

O TE age inibindo a enzima  $3\beta$ -hidroxilase, no final da rota de síntese do ácido giberélico, reduzindo drasticamente o nível do ácido giberélico ativo ( $GA_1$ ), aumentando seu precursor ( $GA_{20}$ ) de baixa atividade (DAVIES, 2010). Assim, como o TE age inibindo a síntese de giberelinas, as plantas ao serem submetidas ao biorregulador no estágio V6 têm significativa redução na divisão e alongação celular num período que é considerado como de grande incremento da alongação do colmo (RITCHIE et al., 2003), reduzindo assim sua altura. A obtenção de menor altura de planta e de inserção de espigas proporciona plantas com seu centro de gravidade mais próximo do solo o que reduz a pré-disposição da cultura ao acamamento (SANGOI et al., 2001). Além disso, a redução na altura das plantas possivelmente promoveu alterações na arquitetura foliar das mesmas, as quais podem melhorar o aproveitamento da radiação solar incidente do dossel, possibilitando a utilização de novos arranjos de planta, com maiores populações.

Por outro lado, Zagonel e Ferreira (2013) trabalhando com o híbrido STATUS TL e aplicações de TE nas doses de 0,0; 187,5; 375 e 562,5 g de i.a.  $ha^{-1}$  em diferentes estádios (V2, V4, V6 e V8), não obtiveram redução na altura de plantas com o uso deste biorregulador. A divergência dos resultados observados por Zagonel e Ferreira (2013) e do presente estudo possivelmente está associada à interação entre genótipo, ambiente e manejo da cultura. Redução na altura de plantas com o uso de TE também foram observadas em trigo (CONTRERAS et al., 2012), arroz (ARF et al., 2012) e soja (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008).

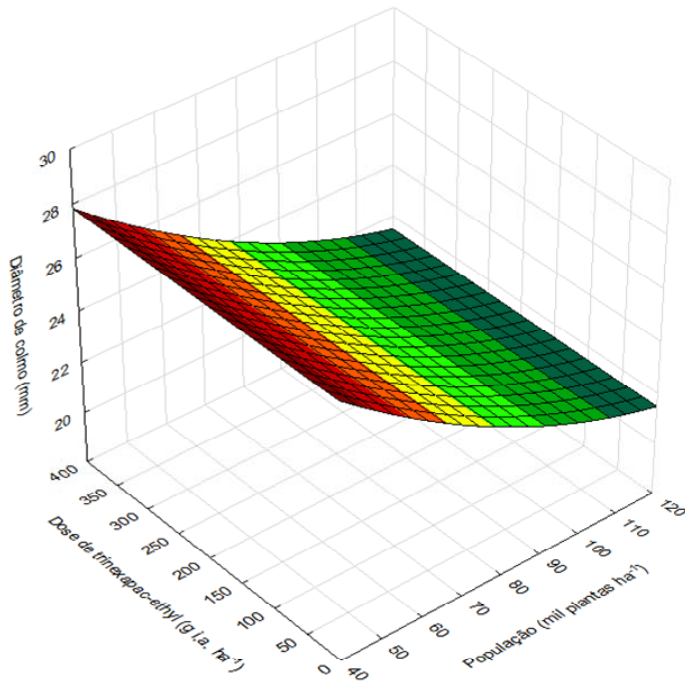
Foi observada redução no diâmetro do colmo das plantas de milho com o incremento da população independente do híbrido e da safra (Figuras 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9). A maior competição das plantas por luz leva a intensa alongação do colmo direcionando os fotoassimilados para o crescimento vertical em detrimento do desenvolvimento em espessura (SANGOI et al., 2002). A redução do diâmetro do colmo pelo aumento da população de plantas pode-se ter consequências indesejáveis, como, maior ocorrência do acamamento e quebra do colmo (KAPPES et al., 2011). O colmo não somente atua como estrutura de suporte para folhas e inflorescências, mas também como estrutura de armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados na formação dos grãos. Assim, o diâmetro do colmo se faz importante na obtenção de elevadas produtividades, principalmente em condições de restrição dos fatores de produção na fase de maturação, pois quanto menor o diâmetro, aparentemente menor será sua capacidade de armazenar fotoassimilados a serem translocados para os grãos (DOURADO NETO et al., 2001).

**Figura 4.6** – Diâmetro de colmo do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



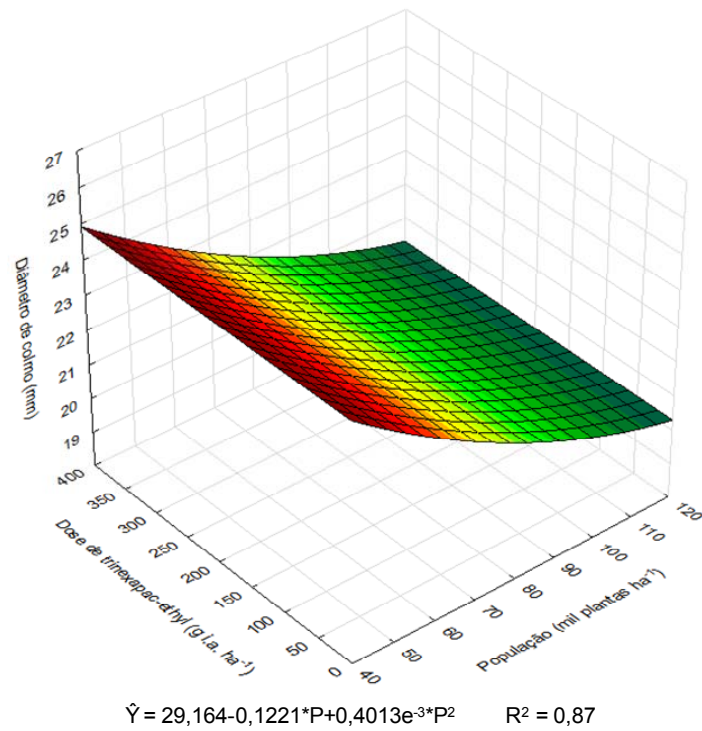
$$\hat{Y} = 29,410 - 0,1067 * P + 0,0042 * TE + 0,3656e^{-3} * P^2 - 0,5824e^{-4} * (P * TE) \quad R^2 = 0,86$$

**Figura 4.7** – Diâmetro de colmo do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.

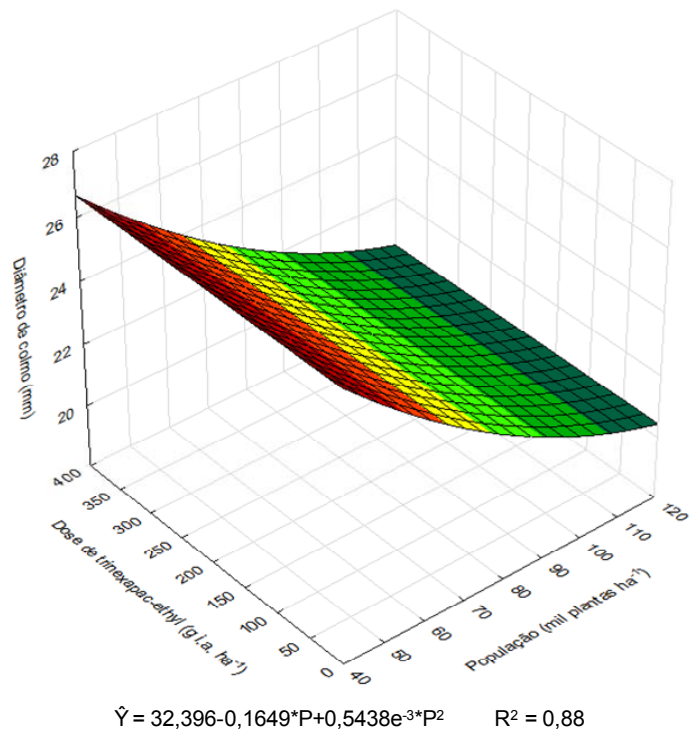


$$\hat{Y} = 33,668 - 0,1679 * P + 0,5529e^{-3} * P^2 \quad R^2 = 0,88$$

**Figura 4.8** – Diâmetro de colmo do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



**Figura 4.9** – Diâmetro de colmo do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



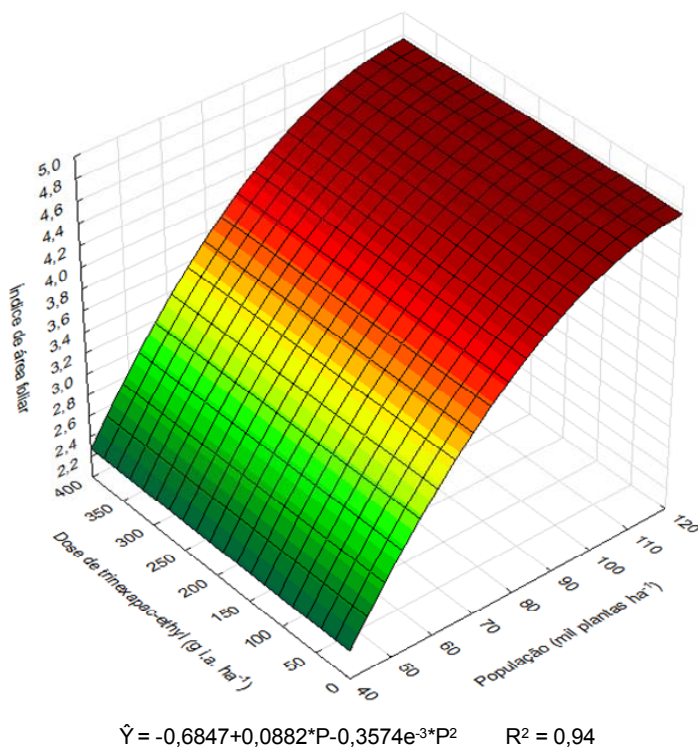
Somente para o híbrido 2B710 HX na safra 1 o diâmetro do colmo apresentou resposta às doses de TE, sendo observada interação entre as populações de plantas e as doses do biorregulador de plantas (Figura 4.6). O TE promoveu o incremento do diâmetro do colmo das plantas de milho nas populações abaixo de 72,2 mil plantas ha<sup>-1</sup>. A partir desta população de plantas, o TE reduziu o diâmetro do colmo, onde essa redução acentuou-se conforme o aumento da população e das doses de TE empregadas.

Zagonel e Ferreira (2013) também observaram resposta quadrática do diâmetro do colmo em função do uso de TE, porém as plantas apresentaram diminuição do diâmetro do colmo nas menores doses e incremento desta característica com as doses maiores. No entanto, apesar dos autores trabalharem a campo com o mesmo cultivar, a população de plantas utilizada foi de somente 67,5 mil plantas ha<sup>-1</sup>, com maior espaçamento entre linhas (0,8 m) e, o resultado observado pelos autores se refere a média de quatro épocas de aplicação do TE (V2, V4, V6 e V8), portanto em condições de manejo e ambiente distintas a deste estudo.

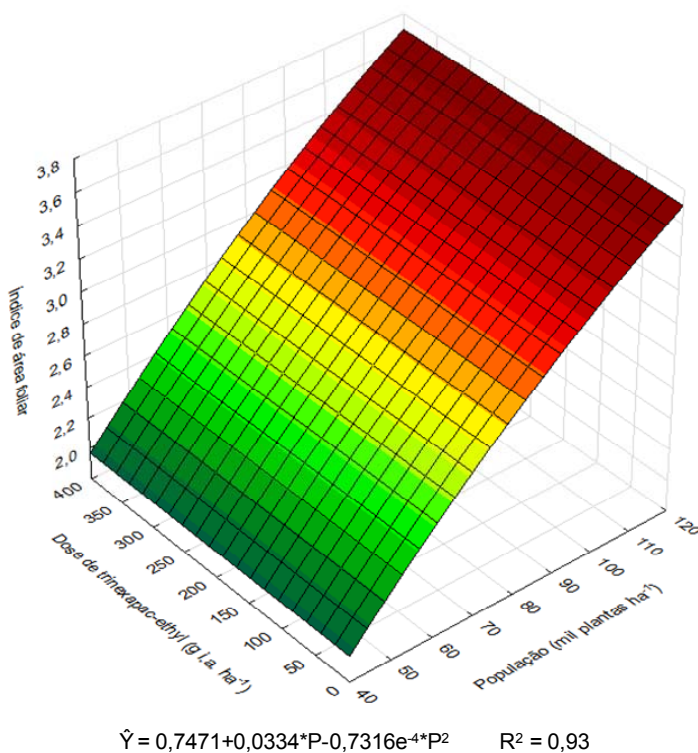
Souza et al. (2013) observaram incremento no diâmetro das hastes de plantas de soja com o uso de TE e atribuem o resultado ao fato dos fotoassimilados terem sido desviados do destino de aumentar a estatura das plantas e desta forma proporcionar aumento no diâmetro das hastes, o que também pode ter acontecido no presente estudo com as plantas de milho em populações abaixo de 72,2 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Já em populações superiores possivelmente o efeito da competição intraespecífica gerada pelo aumento da população se sobressaiu em relação a capacidade do TE de reduzir o crescimento das plantas.

Foi observada resposta quadrática do IAF ao aumento da população de plantas para ambos os híbridos na safra 1 (Figuras 4.10 e 4.11) e resposta linear para os híbridos na safra 2 (Figuras 4.12 e 4.13). Porém, independente do ajuste, foi observado incremento no IAF com o aumento da população de plantas, sendo o maior IAF obtido com a maior população estudada (120 mil pl ha<sup>-1</sup>). Como o IAF é dado pela relação entre a área foliar das plantas e a área do solo por elas ocupado, é esperado que com aumento do número de plantas por hectare seja observado um incremento no IAF da cultura. O incremento no IAF com o uso de maiores densidades de plantas também foi constatado por Strieder et al. (2008).

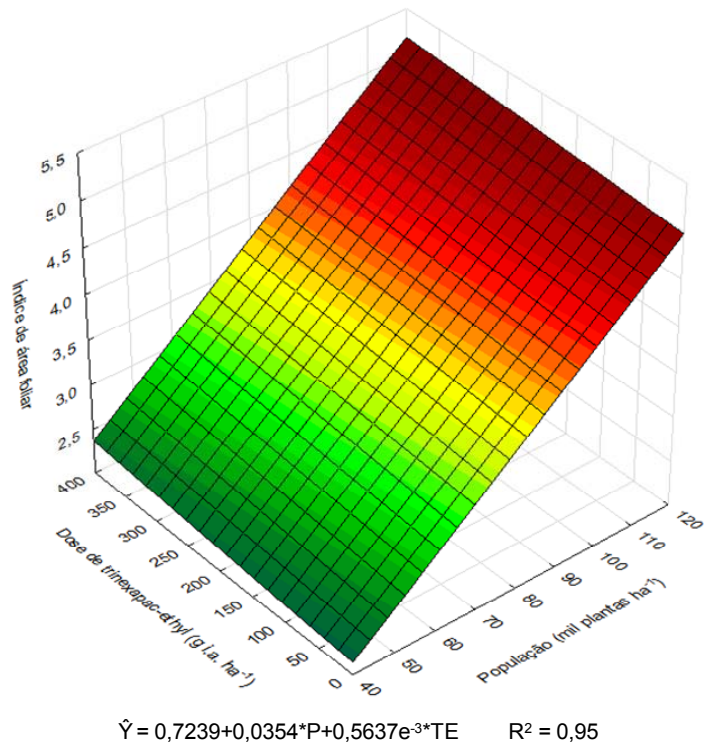
**Figura 4.10** – Índice de área foliar do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



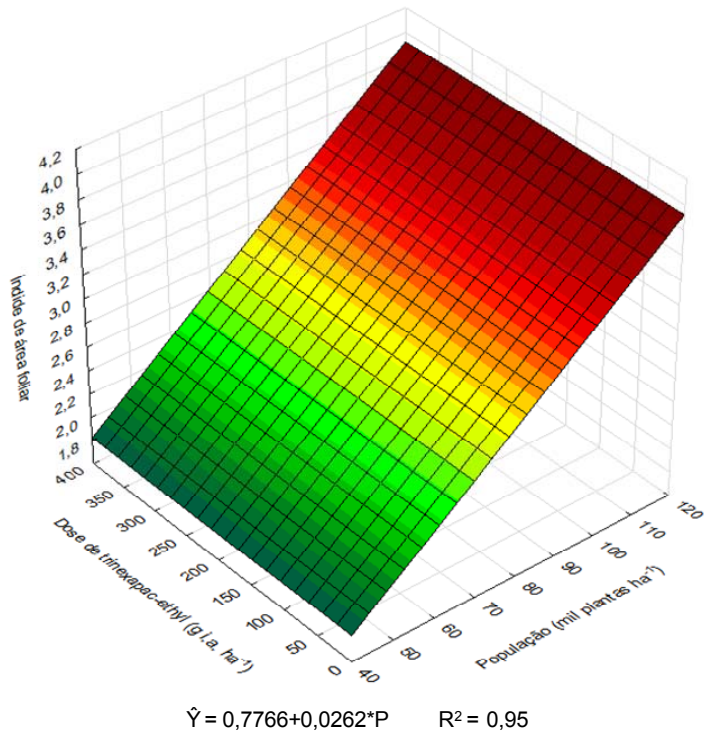
**Figura 4.11** – Índice de área foliar do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



**Figura 4.12** – Índice de área foliar do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



**Figura 4.13** – Índice de área foliar do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



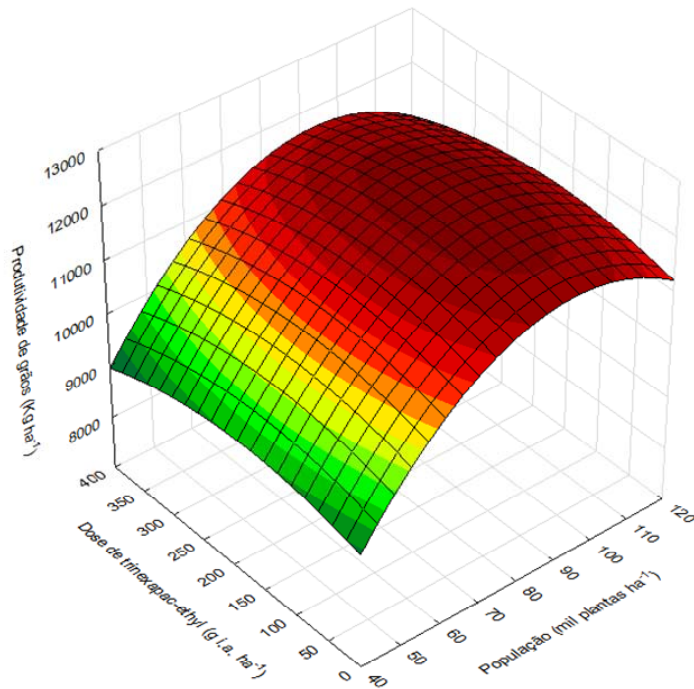
O índice de área foliar foi afetado pelo uso do TE somente no híbrido 2B710 HX na safra 2 promovendo o incremento do índice com o aumento das doses (Figura 4.12). Zagonel e Ferreira (2013) observaram que o uso do TE proporcionou redução do comprimento e aumento da largura da folha de milho localizada logo acima da espiga. Desta forma, é provável que no híbrido 2B710 HX na safra 2 tenha ocorrido redução no comprimento das folhas pelo uso do TE, porém com aumento da sua largura, resultando em maior IAF.

A resposta da produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX aos fatores estudados foi semelhante nas duas safras, sendo observados efeitos independentes de interação entre as populações de plantas e as doses de biorregulador de plantas.

O aumento da população de plantas promoveu incrementos na produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX de forma quadrática com as maiores produtividades de 11.857,7 e 11.712,5 kg ha<sup>-1</sup> observadas com as populações de 93,4 e 87,1 mil plantas ha<sup>-1</sup> para as safras 1 e 2, respectivamente (Figuras 4.14 e 4.15). As máximas produtividades observadas, na ausência do biorregulador, foram maiores que as produtividades obtidas com o uso da população de plantas recomendada pelo detentor do híbrido (65 mil plantas ha<sup>-1</sup>), nas respectivas safras (11.099,2 e 11.255,4 kg ha<sup>-1</sup>). Dessa forma, evidencia-se que quando se dispõe de condições edafoclimáticas favoráveis e se adota adequadas práticas de cultivo é possível o uso de maiores populações de plantas, com aumento da produtividade.

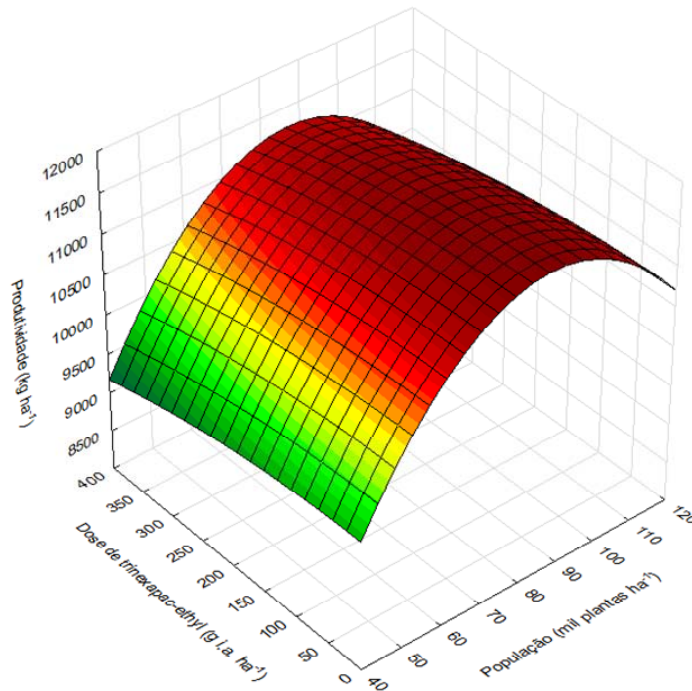
O comportamento da produtividade de grãos em resposta ao incremento na população de plantas corrobora com outros estudos nesta área (CASA et al., 2007; BRACHTVOGEL et al., 2009; SANGOI et al., 2010; KAPPES et al., 2011 e SANGOI et al. 2013). Os autores afirmam que o rendimento de grãos por unidade de área aumenta linearmente com o aumento da população de plantas, até um ponto denominado “crítico”, no entanto, acima da população crítica, devido à competição ocorrida entre as plantas de milho, a produção por planta decresce e o rendimento de grãos por área apresenta comportamento quadrático. Em populações além desse ponto de máxima produção por área, a perda de produção individual é superior ao ganho com aumento de plantas por área, proporcionando redução no rendimento de grãos por hectare, como constatado neste estudo.

**Figura 4.14** – Produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 3667,3 + 175,32 * P + 3,7567 * TE - 0,9382 * P^2 - 0,0107 * TE^2 \quad R^2 = 0,93$$

**Figura 4.15** – Produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 4585,7 + 163,75 * P - 0,9406 * P^2 - 0,0028 * TE^2 \quad R^2 = 0,79$$

Na safra 1 o uso do biorregulador de plantas promoveu incremento com ajuste quadrático na produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX, com incremento máximo de 329,7 kg ha<sup>-1</sup> na dose de 176 g i.a. ha<sup>-1</sup>, independente da população de plantas utilizada (Figura 4.14).

Alterações morfológicas ocasionadas pelo uso de TE, como menor altura de plantas, provavelmente favoreceu o aproveitamento da radiação solar incidente, otimizando a produção de fotoassimilados, refletindo em acréscimo na produtividade de grãos. É ampla a literatura que infere este mesmo comportamento, onde alterações morfológicas das plantas com uso do TE favorecem o incremento em produtividade de grãos, nas culturas do trigo e do arroz (BERTI et al., 2007; ESPINDULA et al., 2009a; ESPINDULA et al., 2009b; NASCIMENTO et al., 2009; ESPINDULA et al., 2011 e ARF et al., 2012;).

No entanto, na safra 2 o biorregulador foi prejudicial à cultura com redução da produtividade, chegando a 448,0 kg ha<sup>-1</sup> com a maior dose (Figura 4.15). A redução na produtividade de grãos com o uso do TE também foi observada nas culturas do arroz e trigo por Alvarez et al. (2007), Alvarez et al. (2012), Contreras et al. (2012) e Alvarez et al. (2014).

A diferença de resposta do híbrido nas duas safras possivelmente ocorreu devido à interação entre os fatores estudados e os fatores edafoclimáticos presentes em cada cultivo. Penckowski (2009), afirma que a resposta da cultura do trigo ao uso do TE está diretamente ligada a aspectos como a textura do solo, nível de fertilidade e condições meteorológicas.

Na safra 2, foi observado incremento no IAF das plantas de milho do híbrido 2B710 HX devido ao uso do TE. É provável que este incremento na área foliar tenha promovido maior autossombreamento das plantas, o que veio por reduzir a interceptação radiação solar pelas folhas do terço inferior, reduzindo a taxa fotossintética das plantas.

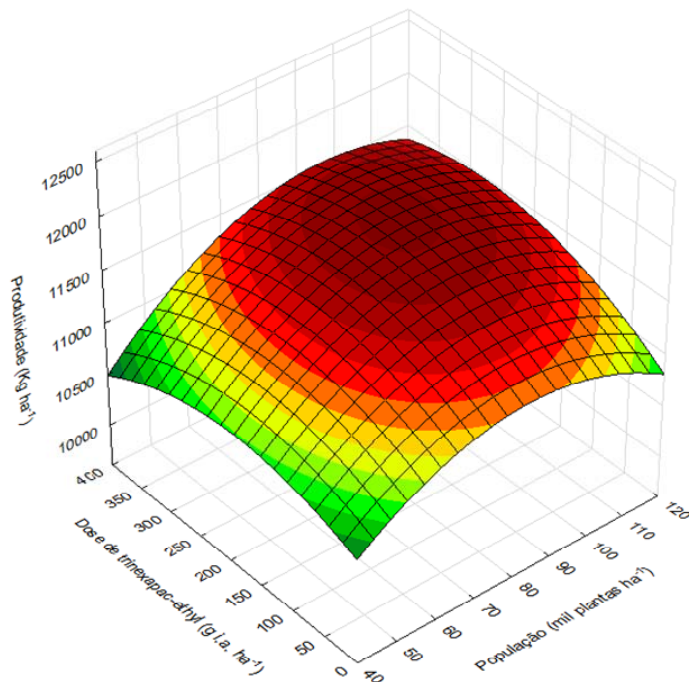
A maior área foliar provinda do uso do TE aliada à restrição de ordem pluviométrica ocorrida na safra 2, no período compreendido entre 29 de janeiro a 27 de fevereiro (Figura 4.2), tenha agravado os prejuízos ocasionados pelo déficit hídrico no período, devido a maior transpiração das plantas por causa da maior área foliar. Radin et al. (2003), estimam que a demanda por água pela cultura do milho neste período (estádios R3 e R4), seja de aproximadamente 150 mm, sendo registrado neste intervalo de 30 dias, apenas 10,1 mm. A falta de água

disponível para as plantas neste período coincidiu com a fase de enchimento dos grãos, onde ocorrem com maior intensidade a divisão/expansão celular e o acúmulo de amido nos grãos de milho, comprometendo assim, o desenvolvimento do grão e a resposta do híbrido ao TE.

Para o híbrido STATUS TL, em ambas as safras foi observada interação significativa entre os fatores populações de plantas e doses de biorregulador de plantas.

Foram obtidas respostas quadráticas da produtividade em consequência do incremento da população de plantas nas diferentes doses de TE (Figuras 4.16 4.17). Tomando como base a ausência do TE, na safra 1 a máxima produtividade foi obtida com a população de 84,0 mil plantas  $ha^{-1}$ , o que corresponde a 11.224,8  $kg\ ha^{-1}$  (Figura 4.16). A resposta da produtividade ao incremento na população de plantas corrobora com o observado para o híbrido 2B710 HX, bem como, com outros autores dessa área de estudo (CASA et al., 2007; BRACHTVOGEL et al., 2009; SANGOI et al., 2010; KAPPES et al., 2011 e SANGOI et al. 2013).

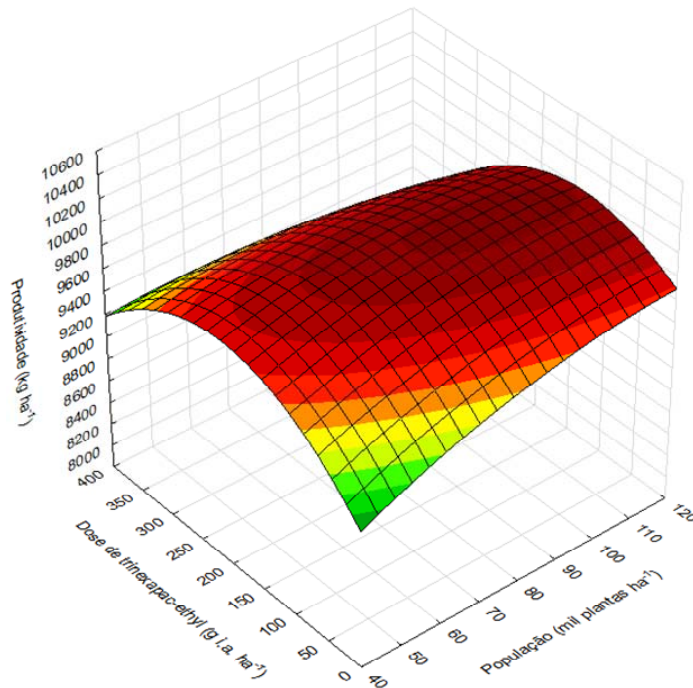
**Figura 4.16** – Produtividade de grãos do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 8949,1 + 54,207 * P + 2,2784 * TE - 0,3228 * P^2 - 0,0084 * TE^2 + 0,0210 * (P * TE) \quad R^2 = 0,89$$

Já na safra 2, a maior produtividade (9.688,9 kg ha<sup>-1</sup>) foi obtida com a população de 120 mil plantas ha<sup>-1</sup> e mesmo obtendo resposta quadrática, o ponto de máxima produtividade (ponto crítico) não foi alcançado com as populações aqui estudadas (Figura 4.17).

**Figura 4.17** – Produtividade de grãos do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 8227,1 + 23,462 * P + 8,179 * TE - 0,0940 * P^2 - 0,0163 * TE^2 - 0,0308 * (P * TE) \quad R^2 = 0,83$$

A obtenção de resposta quadrática da produtividade de grãos ao incremento da população de plantas na cultura do milho é frequente, porém, em alguns casos, devido à peculiaridade da interação ocorrida entre os genótipos e as condições do ambiente, o rendimento pode ser acrescido conforme o aumento da população de plantas sem que este atinja o ponto crítico, como observado em trabalhos realizados por Marchão et al. (2005); Casa et al. (2007) e Kappes et al. (2011).

Em ambas as safras a população responsável pela máxima produtividade de grãos foi superior a população recomendada pelo detentor do híbrido (Syngenta®), que é de 70 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Os resultados demonstram que a interação entre genótipo e ambiente nas duas safras, apresentaram condições favoráveis à produtividade de grãos em altas populações de plantas.

Com a interação significativa entre a população de plantas e as doses de TE, a população de plantas referente à máxima produtividade de grãos (ponto crítico) foi alterada. Em ambas as safras o TE foi responsável por incrementos quadráticos na produtividade de grãos.

Na safra 1, a máxima produtividade do híbrido STATUS TL passou a ser obtida com a população de 92,2 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  aliada a dose de TE de 251,0 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 11.731,6 kg  $\text{ha}^{-1}$ . Este novo ponto crítico proporcionou a produção de 506 kg  $\text{ha}^{-1}$  a mais que a máxima produtividade na ausência do biorregulador (84 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) (Figura 4.16). A menor altura das plantas proporcionada pelo TE possivelmente alterou a morfologia das mesmas reduzindo o autossombreamento causado pelas maiores populações, favorecendo a produção de grãos por planta mesmo em populações acima da ideal, incrementando a produtividade de grãos.

Na safra 2, a partir dos incrementos proporcionados pelo uso do TE, a população de plantas referente à máxima produtividade foi obtida em 99,0 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  associada à dose de TE de 157,5 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$ , proporcionando uma produtividade de grãos de 10.032,1 kg  $\text{ha}^{-1}$ , 343,2 kg  $\text{ha}^{-1}$  além do obtido na ausência do biorregulador (Figura 4.17).

Zagonel e Ferreira (2013), não observaram efeitos das doses e épocas de aplicação do TE sobre o mesmo híbrido, porém, a interação dos fatores com o meio de cultivo não proporcionou condições para que fossem observadas alterações sobre as características morfológicas das plantas e/ou componentes de produção da cultura. Os mesmos ainda afirmam que a resposta do milho ao uso do TE não é frequente e varia em função de fatores como clima, cultivar, dose e época de aplicação.

Uma das formas de maximizar a interceptação da radiação solar, e assim a produtividade de grãos, é via incremento do índice de área foliar (SANGOI et al., 2013). No presente estudo não foram observados efeitos do TE sobre esta característica (exceto no híbrido 2B710 HX na safra 2), porém, Argenta et al. (2001) afirmam que não somente a área foliar, mas também o ângulo de inserção e distribuição das folhas na planta e características de absorção de luz pela folha, são componentes influenciadores da interceptação da radiação solar.

Trabalhos realizados por Johnson et al (1987) e Kasele et al. (1994) com milho identificaram maior atividade fotossintética em folhas de menor tamanho,

quando comparadas com folhas maiores. Essa maior atividade deve-se ao aumento da densidade estomática, do conteúdo de proteínas e de clorofila e conseqüentemente, da taxa de assimilação do CO<sub>2</sub>. Desta forma, o TE possivelmente alterou a arquitetura foliar das plantas, como folhas menores e eretas, que diminuíram o autossombreamento e aumentaram a fotossíntese como em estudo realizado em trigo por Espindula et al. (2009a). Também um maior teor de clorofila nas folhas ocasionada pelo TE, assim como observado por McCann e Huang (2007) em *Agrostis stolonifera* L., pode ter otimizado a taxa fotossintética incrementando a produtividade de grãos.

De forma mais ampla, observa-se que os efeitos de população de plantas e doses do TE se apresentaram mais benéficos ao cultivo na safra 1, fato ocorrido devido as melhores condições de precipitação pluvial que favoreceram o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Na cultura do trigo o uso do TE não é indicado no caso de ocorrência de deficiência hídrica durante o desenvolvimento da cultura (RCBPTT, 2014).

O uso do TE por restringir a altura de plantas e o IAF pode reduzir a produção individual das plantas de milho, contudo, essa redução pode ser compensada pelo emprego de maiores populações de plantas, resultando em maior produção de grãos por área.

Era esperado que os melhores resultados, referentes ao uso do TE, fossem observados para o híbrido 2B710 HX devido sua característica de arquitetura de folhas planas, a qual promove maior autossombreamento da cultura. No entanto, apesar do efeito positivo do TE sobre a produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na primeira safra, o híbrido STATUS TL (folha ereta) apresentou ganhos em produtividade mais acentuados em ambas as safras. Estes resultados demonstram que mesmo os híbridos com arquitetura foliar favorável ao uso de altas populações de plantas podem ter seu potencial produtivo potencializado pelo uso do TE.

O uso do TE se apresenta como uma técnica promissora no manejo da cultura do milho com grandes potencialidades no incremento de produtividade. No entanto, o emprego do biorregulador não se faz de forma simples, pois fatores inerentes às condições de cultivos, como a cultivar empregada, a fertilidade do solo, a nutrição das plantas e as condições meteorológicas são fundamentais para obtenção de resultados positivos. Desta forma, fica evidente a necessidade de continuidade nos estudos do emprego do biorreguladores de plantas na cultura do

milho, onde sua interação com técnicas de manejo como, arranjo de plantas, épocas de semeadura e adubação surgem como aspectos a serem abordados em outros estudos.

#### 4.4 CONCLUSÕES

O incremento na população aumenta a altura de plantas, de inserção de espiga e o índice de área foliar e reduz o diâmetro do colmo.

O uso do biorregulador de plantas trinexapac-ethyl reduz a altura de plantas e de inserção de espigas conforme o aumento das doses, possibilitando a utilização de maior densidade de plantas.

A interação de população de plantas e aplicação de trinexapac-ethyl favorece a produtividade do milho, com respostas variáveis de acordo com o híbrido e o ambiente de cultivo. As maiores produtividades de grãos foram observadas nas combinações de 93,4 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  com a dose de 176 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  de TE para o híbrido 2B710 HX e 92,2 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  com a dose de 251 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  de TE para o híbrido STATUS TL.

## 4.5 REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.D.; ALVAREZ, A.C.C. Aplicação de reguladores na cultura do arroz de terras altas. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 241-249, 2007.
- ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S. Produtividade de arroz de terras altas em função de reguladores de crescimento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 1, p. 042-049, 2014.
- ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; RODRIGUES, J.D.; HABERMANN, G. Gás exchange rates, plant height, yield components, and productivity of upland rice as affected by plant regulators. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1455-1461, 2012.
- ARF, O.; NASCIMENTO, V.; RODRIGUES, R.A.F.; ALVAREZ, R.C.F.; GITTI, D.C.; SÁ, M.E. Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 150-158, 2012.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, 2001.
- BERTI, M.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Produtividade de cultivares de trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 127-134, 2007.
- BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2334-2339, 2009.
- CASA, R.T.; MOREIRA, E.N.; BOGO, A.; SANGOI, L. Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e rendimento de grãos em híbridos de milho submetidos ao aumento na densidade de plantas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, n.4, p.353-357, 2007.
- COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2006. 10p. (Circular técnica 78).
- CONTRERAS, R.L.G.; DUARTE, R.M.; DÍAZ, G.M.; CONTRERAS, F.R.; RAMIREZ, F.N. Effects of trinexapac-ethyl on different wheat varieties under desert conditions of Mexico. **Agricultural Sciences**, v. 3, n 5, p. 658-662, 2012.
- CRUZ, J.C.; PEREIRA, F.T.F.; PEREIRA FILHO, I.A.; OLIVEIRA, A.C.; MAGALHÃES, P.C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.1, p.60-73, 2007.
- DAVIES, P.J. Introduction: The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions. **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!** 3. ed. Dordrecht: Springer, 2010. p. 1-6.

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

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção: Cultura do milho**. [s.l.], 7ed. Versão eletrônica, 2011. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_7ed/autores.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/autores.htm)>. Acesso em: 02 maio 2012.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Segunda edição, Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 2006. 306p.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; FONTES, P.C.R.; SILVA, R.C.C.; SOUZA, L.T. Effect of nitrogen and trinexapax-ethyl rates on the spad index of wheat leaves. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 32, n. 11, p. 1956-1964, 2009a.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; GROSSI, J.A.S.; SOUZA, M.A.; SOUZA, L.T.; VAVARATO, L.F. Use of growth retardants in wheat. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 379-387, 2009b.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, L.T.; SOUZA, M.A.; CAMPANHARO, M.; GROSSI, J.A.S. Rates of nitrogen and growth retardant trinexapac-ethyl on wheat. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2045-2052, 2011.

FRANCIS, C.A. RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E.A. Rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays*). **Crop Science**, Madison, v.9, p.537-539, 1969.

JOHNSON, G.A.; HOVERSTAD, T.R.; GREENWALD, R.E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.1, p.40-46, 1987.

KAPPES, C.; ANDRADE, J.A.C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A.C.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P. Arranjo de plantas para diferentes híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.348-359, 2011.

KASELE, I.N.; NYIRENDA, F.; SHANAHAN, J.F.; NIELSEN, D.C.; DÂNDRIA, R. Ethephon alters corn growth, water use, and grain yield under drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, n.2, p.283-288, 1994.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V.F.; SANTOS, D.; BENCKE, M.H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.3, p.373-379, 2008.

MCCANN, S.; HUANG, B. Effects of trinexapac-ethyl foliar application on creeping bentgrass responses to combined drought and heat stress. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 2121-2128, 2007.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; DUARTE, J.B.; GUIMARÃES, C.M.; GOMES, J.A. Densidades de plantas e características agronômicas de híbridos de milho em espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35,

n. 2, p. 93-101, 2005.

MATYSIAK, K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v.46, n.2, p.133-143, 2006.

NASCIMENTO, V.; ARF, O.; SILVA, M.G.; BINOTTI, F.F.S.; RODRIGUES, R.A.F.; ALVAREZ, R.C.F. Uso de regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 921-929, 2009.

PENCKOWSKI, L.H. **Utilizando regulador de crescimento na cultura do trigo: Aspectos importantes para garantir bons rendimentos**. 2. Ed. Passo Fundo: Fundação ABC. 2009, 60p.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v.31, n.3, p. 473-479, 2009.

PIANA, A.T.; SILVA, P.R.F.; BREDEMEIER, C.; SANGOI, L.; VIEIRA, V.M.; SERPA, M.S.; JANDREY, D.B. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2608-2612, 2008.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; BERGONCI, J.I.; FRANÇA, S. Evapotranspiração da cultura do milho em função da demanda evaporativa atmosférica e do crescimento das plantas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 9, n. 1/2, p. 7-16, 2003.

RCBPTT - Reunião da Comissão Brasileira da Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para trigo e triticale – Safra 2014**. Londrina, 2014. 235 p.

RITCHIE, S.W. HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2003. 20p. (Informações Agronômicas, 103).

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.1, 2001.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Bases morfológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, p. 101-110, 2002.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SCHMITT, A.; PICOLI JUNIOR, G.J.; VARGAS, V.P.; VIEIRA, J. SEIGA, E.; CARNIEL, G. Perfilhamento e prolificidade como características estabilizadoras do rendimento de grãos do milho, em diferentes densidades. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 3, p. 254-265, 2010.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F. Alta densidade e espaçamento entre linhas reduzido em milho. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 87, p. 10-15, 2006.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Editora

Graphel, 2007. 95p.

SANGOI, L.; ZANIN, C.G.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J. Senescência foliar e resposta de híbridos de milho liberados comercialmente para cultivo em diferentes épocas ao adensamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 1, p. 21-32, 2013.

SOUZA, C.A.; FIGUEIREDO, B.P.; COELHO, C.M.M. CASA, R.T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade de soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 19, n. 3, p. 634-643, 2013.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; RAMBO, L.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; ENDRIGO, P.C.; JANDREY, D.B. Características de dossel e rendimento de milho em diferentes espaçamentos e sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 309-317, 2008.

USDA: United States Department of Agriculture. **World agricultural production**. [s.l.], Setembro – 2013, 26p. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 28 de out de 2013.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.2, p.331-339, 2007.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Doses e época de aplicação de regulador de crescimento em híbridos de milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 395-402, 2013.

## 5 ARTIGO B

### ALTERAÇÃO POPULACIONAL E DOSES DE TRINEXAPAC-ETHYL NO DESEMPENHO PRODUTIVO DO MILHO

#### RESUMO

O aumento da população de plantas associada ao uso de biorregulador de plantas, além de modificar a arquitetura de plantas, pode também alterar os componentes de produção e a produtividade do milho. O trabalho objetivou avaliar os efeitos de doses de trinexapac-ethyl (TE) no desempenho produtivo do milho cultivado em diferentes populações. Experimentos foram conduzidos a campo nas safras 2010/11 (Cambé-PR) e 2011/12 (Londrina-PR). Ambos foram instalados em esquema fatorial (5 x 5), sendo cinco populações de plantas (40, 60, 80, 100 e 120 mil plantas ha<sup>-1</sup>) e cinco doses de TE (0, 100, 200, 300 e 400 g de i.a. ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições, utilizando os híbridos 2B710 HX e Status TL. Foram avaliados o número de espigas por hectare, número de fileiras de grãos por espiga, comprimento de espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade de grãos. O incremento na população de plantas aumenta o número de espigas por hectare, mas reduz o comprimento das espigas, o número de grãos por fileira e a massa de mil grãos, não alterando o número de fileira de grãos por espiga. O biorregulador de plantas TE aumenta o comprimento das espigas e o número de grãos por fileira e reduz a massa de mil grãos do milho, principalmente em condições favoráveis de cultivo. O TE interage com a população de plantas, alterando os componentes de produção de milho com aumento da produtividade de grãos, com ganhos variáveis de acordo com o ambiente e características do genótipo.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Arquitetura de plantas. Componentes de produção. Arranjo de plantas. Redutor de crescimento.

## ABSTRACT

The increase in population associated with the use of reducing growth of plants, in addition to modifying the architecture of plants, you can also change the production components and maize yield. The study aimed to evaluate the effects of doses of ethyl-trinexapac (TE) in yield performance of maize grown at different densities. Experiments were conducted to field crops in 2010/11 (Cambé-PR) and 2011/12 (Londrina-PR). Both were installed in factorial (5 x 5), five plant populations (40, 60, 80, 100 and 120 000 plants ha<sup>-1</sup>) and five TE (0, 100, 200, 300 and 400 g ai ha<sup>-1</sup>), with four replicates using hybrid 2B710 HX and STATUS TL. The characteristics of number of ears per hectare, number of rows of kernels per ear, ear length, number of kernels per row, thousand grain weight and grain yield were evaluated. The increase in plant population increases the number of ears per hectare, but reduces the length of ears, number of kernels per row and the thousand grain weight, not changing the number of rows of grains per spike. The growth reducer TE increases the length of the spikes and the number of kernels per row and reduces the weight of a thousand grains of corn, especially in favorable growing conditions. The TE interacts with the plant population by changing the components of corn production with increased grain yield with variable gains according to the characteristics of the environment and genotype.

**Keywords:** Zea mays L. Leaf architecture. Components production. Arrangement of plants. Reducer growth.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Uma das espécies mais eficientes na conversão de energia radiante em fitomassa é a cultura do milho (SANGOI et al., 2007). Por ser uma planta de metabolismo C4, o milho apresenta características fisiológicas favoráveis a uma eficiente conversão do gás carbônico da atmosfera em compostos orgânicos. Isso ocorre devido ao processo fotossintético destas plantas que proporciona uma contínua concentração do CO<sub>2</sub> nas células da bainha do feixe vascular das folhas favorecendo a atuação da Rubisco como carboxilase, otimizando o aproveitamento deste CO<sub>2</sub> em carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, a produtividade de grãos da cultura pode ser incrementada maximizando a sua eficiência fotossintética, o que pode ser obtido pela melhoria da interceptação da radiação solar pelo dossel (MARCHÃO et al., 2006).

Uma das formas de melhorar a interceptação da radiação pela cultura é o uso de altas densidades de plantas (MARCHÃO et al., 2005; SANGOI et al., 2009b), devido o aumento na área foliar do dossel (SANGOI et al., 2013). Silva et al. (2006) afirmam que o manejo da densidade de plantas na cultura do milho é a prática que tem maior efeito sobre o rendimento de grãos. Isso ocorre porque o milho não possui mecanismos eficientes de compensação de espaços, pois seu perfilhamento é escasso e ineficiente (SANGOI et al., 2011), sua capacidade de expansão foliar é limitada e sua prolificidade é baixa (ANDRADE et al., 1999; SILVA et al., 2006), bem como o número de grãos por espiga e a massa do grão, não têm plasticidade suficiente para compensar reduções drásticas no número de plantas (EMYGDIO; TEIXEIRA, 2008).

O uso de maiores densidades de plantas também acarreta malefícios aos cultivos resultando em plantas mais altas e com colmos mais finos (SANGOI et al., 2002; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003), o que acaba favorecendo o acamamento da cultura (FORNASIERI FILHO, 1992). Além de tudo, altas densidades também são prejudiciais aos componentes de produção do milho, visto que o número excessivo de plantas por área aumenta a competição intraespecífica, reduzindo componentes como o comprimento das espigas, o número grão e/ou massa por espigas e a massa de mil grãos (PEREIRA, et al. 2008; BRACHTVOGEL, et al. 2009; e SANGOI et al. 2009a). Para tanto, os programas de melhoramento tem se esforçado para desenvolver genótipos adaptados (CRUZ et al.

2007), os quais se apresentam mais precoces e compactos, com baixa estatura e folhas mais eretas (PIANA et al., 2008) reduzindo assim, a predisposição do cultura adensada ao acamamento (KAPPES et al. 2011) e ao autossombreamento das plantas, o que pode reduzir a produtividade.

Outro fator de extrema importância no aproveitamento da radiação incidente pela cultura do milho é sua arquitetura foliar. A arquitetura foliar é representada pela interação de características como número de folhas, angulação foliar, área foliar e distribuição destas ao longo do colmo. Desta forma, a arquitetura foliar se torna a característica morfológica que mais influencia a resposta dos genótipos às diferentes densidades populacionais em uma lavoura de milho. A importância da arquitetura foliar da planta de milho está diretamente relacionada ao fato de que com a maximização da interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura, ocorre também a maximização do rendimento (SANGOI et al., 2002).

Como nem sempre esses cultivares precoces e compactas estão disponíveis ou são adaptados à região de cultivo, a adoção de técnicas alternativas como o uso de reguladores de crescimento pode ser uma forma para adequar a arquitetura das plantas de milho, viabilizando o uso de altas densidades.

Os biorreguladores atuam na fisiologia da planta, a fim de alterar características da arquitetura foliar e reduzir a altura do caule com o objetivo de facilitar tratos culturais, reduzir a propensão ao acamamento, maximizar a absorção da radiação solar e assim, aumentar a produtividade de grãos (ZAGONEL; FERNANDES, 2007; ZAGONEL; FERREIRA, 2013).

O TE é um dos biorreguladores de plantas que atua interferindo na biossíntese do ácido giberélico (HECKMAN et al., 2002). Este reduz drasticamente o nível do ácido giberélico ativo (GA1) por inibir a enzima 3 $\beta$ -hidroxilase, onde os baixos níveis de GA1 acabam por promover a baixa estatura das plantas (DAVIES, 1987).

Devido sua forma de ação, o TE é utilizado em cereais de inverno promovendo a redução acentuada no comprimento do colmo, reduzindo assim a altura de plantas e evitando o acamamento (FARGERNESS; PENNER, 1998). Na cultura do trigo, trabalhos tem demonstrado que mesmo na ausência de acamamento o uso do TE altera a arquitetura foliar das plantas permitindo maior aproveitamento da radiação incidente, e conseqüentemente, proporciona acréscimos em produtividade, devido as alterações nos componentes de produção (MATYSIAK,

2006; ZAGONEL; FERNANDES, 2007; FERNANDES, 2009; PENCKOWSKI et al., 2009). Incrementos na produtividade de grãos de arroz de terras altas com o uso do TE foram observados por Nascimento et al. (2009) e Arf et al. (2012), sendo observado incrementos no número de panículas  $m^{-2}$ , na massa de 100 grãos e no peso hectolítrico. Outros estudos tem buscado maiores informações e perspectivas do uso de TE também na cultura da soja (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008; SOUZA et al., 2013).

Espindula et al. (2011) estudaram as interações entre doses de nitrogênio (N) e de TE na cultura do trigo e observaram que o uso do biorregulador em baixas doses de N reduziu o peso hectolítrico, a massa e a produtividade de grãos, porém, quando houve o incremento das doses de N, o TE favoreceu essas características. Os autores afirmam que essa resposta foi proporcionada pela redução do acamamento e mudanças na altura e arquitetura da planta, como folhas mais compactas e menos decumbentes (ESPINDULA et al., 2009a), evitando a autossombreamento e aumentando a fotossíntese através da captura de luz.

Na cultura do milho, Zagonel e Ferreira (2013), testaram diferentes doses e épocas de aplicação sobre os híbridos STATUS TL e MAXIMUS TLTG. Em relação aos componentes de produção, somente a massa de mil grãos do híbrido STATUS TL apresentou resposta quadrática as doses de TE, não sendo observado resposta da produtividade de grãos as doses e épocas de aplicação do biorregulador. Contudo, os autores trabalharam com doses e épocas de aplicação do redutor em população de plantas e espaçamento entre linhas fixos, não avaliando a interação com outras técnicas de manejo da cultura.

Desta forma, o trabalho teve por objetivo, avaliar os componentes de produção e a produtividade de grãos de híbridos de milho, com arquiteturas foliares contrastantes, em resposta a diferentes populações de plantas e doses de trinexapac-ethyl.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em duas safras agrícolas. Na safra 1 (2010/2011), o experimento foi instalado na Fazenda Mirante no município de Cambé-PR (23°03'25" S e 51°17'53" W, altitude – 490 m) e na safra 2 (2011/2012), na Fazenda Escola

da Universidade Estadual de Londrina (UEL) (23°20'32" S e 51°12'32" W, altitude - 540 m). Os solos dos locais foram caracterizados respectivamente como Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e Latossolo Vermelho distroférico (LVd), (EMBRAPA, 2006).

Nas áreas experimentais preconiza-se o sistema de semeadura direta. Previamente a instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo das áreas experimentais, na camada de 0 a 0,20 m, para análise química, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.1.

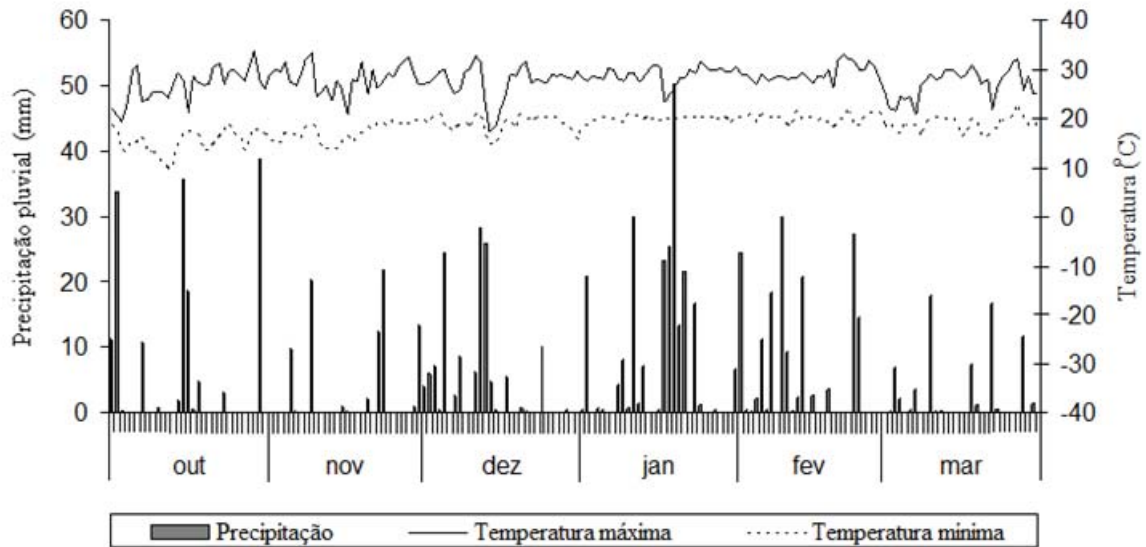
**Tabela 5.1** – Características químicas do solo das áreas experimentais localizadas em Cambé-PR (2010/2011) e Londrina-PR (2011/2012).

Características	Valores	
	Cambé-PR	Londrina-PR
pH em CaCl <sub>2</sub>	5,29	5,26
P (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	9,07	9,08
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	0,38	0,30
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), KCl 1mol L <sup>-1</sup>	5,93	4,28
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), KCl 1mol L <sup>-1</sup>	1,57	1,05
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), KCl 1 mol L <sup>-1</sup>	0,00	0,00
H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ), método SMP	4,09	3,37
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ), CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	8,52	2,83
Manganês (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	140,03	81,21
Ferro (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	48,91	34,60
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	14,46	14,46
Zinco (mg dm <sup>-3</sup> ), Mehlich 1	7,78	3,03
Boro (mg dm <sup>-3</sup> ), HCl 0,05N	0,84	0,72
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,88	5,63
V (%)	66,74	62,53
Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	26,19	14,24
Nitrogênio total (g dm <sup>-3</sup> )	1,31	0,71
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12,3	9,00
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,21	5,83

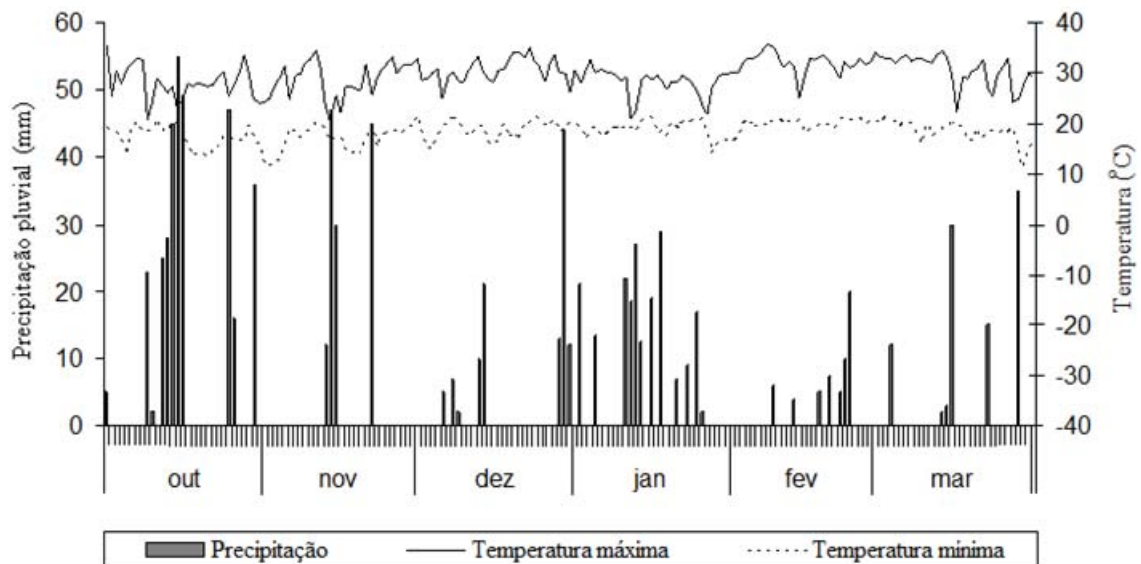
Análises realizadas pelo Laboratório LABORSOLO, Londrina-PR.

Os dados referentes a precipitação pluvial e temperaturas médias máximas e mínimas, observadas nos períodos experimentais, foram obtidas das estações meteorológicas situadas na Embrapa Soja em Londrina-PR (2010/2011) e na sede do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR em Londrina-PR (2011/2012), e são demonstrados nas Figuras 5.1 e 5.2, respectivamente.

**Figura 5.1** – Dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e temperaturas mínimas diárias referentes à safra de cultivo 2010/2011, Cambé-PR.



**Figura 5.2** – Dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperaturas máximas e temperaturas mínimas diárias referentes à safra de cultivo 2011/2012, Londrina-PR.



A área útil das parcelas totalizou 9 m<sup>2</sup>, sendo a parcela experimental formada por 6 linhas de 6 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, sendo consideradas como área útil as 4 linhas centrais com 5 m de comprimento.

Em cada safra foram realizados dois experimentos com cultivares de arquitetura foliar distintas (2B710 HX/Plana e STATUS TL/Ereta), semeados em áreas paralelas. Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos completos, com tratamentos casualizados, no esquema fatorial 5 x 5, com quatro repetições. Foram estudadas cinco populações de plantas de milho (40, 60, 80, 100 e 120 mil plantas ha<sup>-1</sup>) com cinco doses de TE (0, 100, 200, 300 e 400 g de i.a. ha<sup>-1</sup>). O TE foi obtido através do produto comercial Moddus<sup>®</sup> que possui concentração de 250 g de i.a. L<sup>-1</sup>.

A semeadura dos experimentos foi realizada com cerca de 144.000 sementes ha<sup>-1</sup>, nas datas de 12 de outubro de 2010 e 19 de outubro de 2011, dentro do período estabelecido pelo zoneamento agrícola da cultura do milho (EMBRAPA, 2011). Cerca de 20 dias após a semeadura foi realizado o desbaste manual das plântulas conforme a densidade populacional previamente definida.

O biorregulador de plantas, foi aplicado no estágio V6, segundo escala proposta por Ritchie et al. (2003), via foliar com o uso de pulverizador costal pressurizado (CO<sub>2</sub>), equipado com ponta de pulverização tipo leque duplo com indução de ar, com pressão e vazão constante de 150 L ha<sup>-1</sup>.

A adubação de semeadura com nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) foi realizada conforme os resultados da análise de solo, seguindo as indicações técnicas da Circular Técnica 78 (Nutrição e Adubação no Milho) (COELHO, 2006). Desta forma, foi utilizado no experimento da safra 1 a adubação de semeadura com o formulado 14-34-20 (N-P-K) na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> e no experimento da safra 2 o formulado 10-25-16 (N-P-K) na dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada entre os estágios V4 e V6 (RITCHIE et al., 2003) na dose de 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, utilizando como fonte uréia comum (45%).

Foram realizados os tratos culturais e o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças de acordo com as recomendações do Sistema de Produção da Cultura do Milho (EMBRAPA, 2011).

Após o término do ciclo da cultura foram colhidas as espigas da área útil das parcelas sendo estas contadas estimando-se a número de espigas por hectare. Foram separadas aleatoriamente dez espigas de cada parcela, onde foram avaliadas as características de comprimento da espiga (aferição do comprimento das fileiras de grãos com auxílio de trena graduada), número de fileiras de grãos por espiga e número de grãos por fileira através de simples contagem.

Posteriormente a debulha de todas as espigas da área útil de cada parcela, foram aferidas a massa de mil grãos e a produtividade de grãos. A massa de mil grãos foi determinada conforme metodologia proposta por Brasil (2009) e, a produtividade através da pesagem dos grãos produzidos na área útil, ambas com massas corrigidas para umidade de 130 g de água por quilograma de grão.

Os dados foram analisados através da metodologia superfície de resposta partindo do modelo inicial de segunda ordem:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j>i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

$\uparrow$   
 Efeito linear

$\uparrow$   
 Efeito quadrático

$\uparrow$   
 Efeito da interação

Onde:  $y$  – variável dependente,  $\beta_0, i, ii$  e  $ij$  - parâmetros do modelo,  $k$  – número de variáveis independentes,  $X_i$  e  $X_j$  – variáveis independentes (população de plantas e doses de TE).

Para realização das análises e confecção dos gráficos foi utilizado o programa STATISTICA 12<sup>®</sup>.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

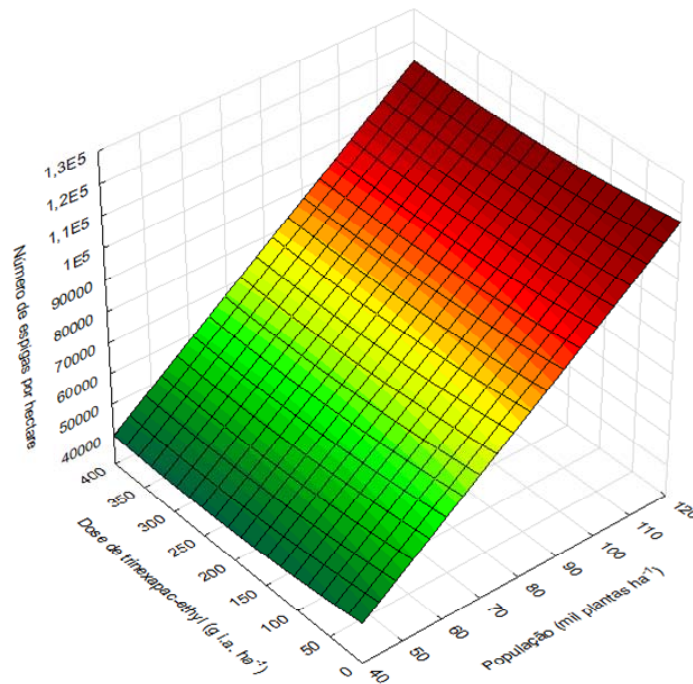
As recomendações técnicas não podem ser tomadas de forma ampla para uma determinada cultura, principalmente para as que apresentam uma grande variedade de cultivares utilizados. A tendência atual é de realizar o manejo das culturas por cultivar, a exemplo do que é feito para o uso do TE na cultura do trigo, onde se adéqua a dose do biorregulador à resposta em produtividade do material (ZAGONEL E FERNANDES, 2007). Desta forma, os resultados foram analisados de forma separada para cada híbrido estudado.

O aumento da população de plantas proporcionou incremento no número de espigas por hectare dos dois híbridos, independente da safra (Figuras 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6). Esse acréscimo no número de espigas por hectare corroboram com os resultados observados por Piana et al. (2008) e Brachtvogel et al. (2009). O incremento no número de espigas por hectare já era esperado, devido fato de o

aumento de plantas por área ser expressivo, o que compensou o aumento de possíveis plantas estéreis (sem espiga) ocasionado pelas altas populações empregadas, assim como afirmado por Brachtvogel et al. (2009).

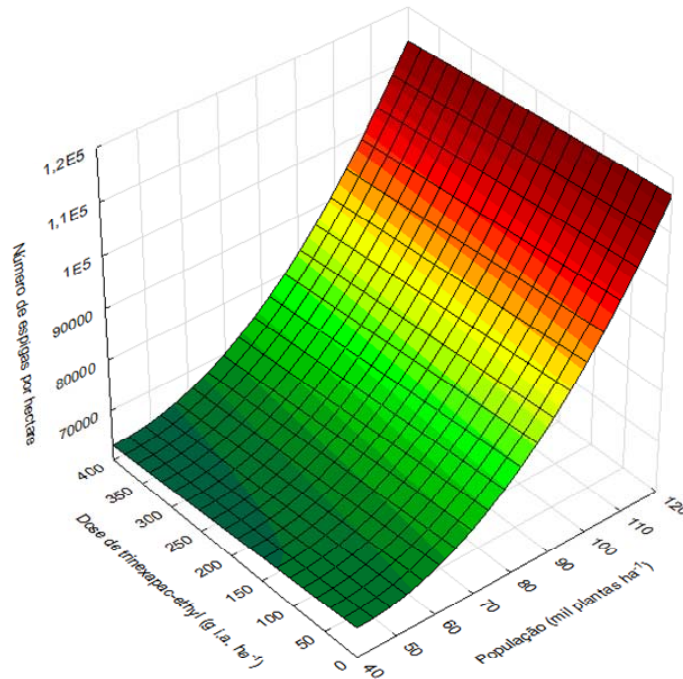
O número de espigas por hectare apresentou redução com o uso do TE para ambos os híbridos na safra 1 (Figuras 5.3 e 5.4). O TE reduz a divisão e a alongação celular inibindo a enzima 3 $\beta$ -hidroxilase, a qual faz parte da rota de síntese do ácido giberélico, reduzindo drasticamente o nível de ácido giberélico ativo (GA1), aumentando seu precursor (GA20) de baixa atividade (DAVIES, 2010). Desta forma, a redução na divisão e alongação celular, a qual ocorre principalmente em meristemas, pode ter inibido o desenvolvimento de espigas na planta.

**Figura 5.3** – Número de espigas por hectare do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



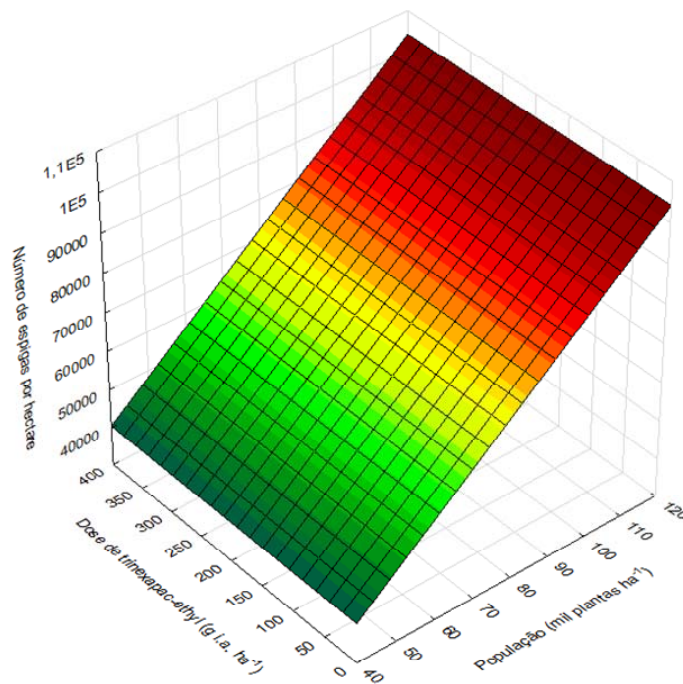
$$\hat{Y} = 5730,7 + 930,50 * P - 28,379 * TE + 0,0499 * TE^2 \quad R^2 = 0,98$$

**Figura 5.4** – Número de espigas por hectare do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 78674,1 - 637,35 * P - 7,4290 * TE + 7,9562 * P^2 \quad R^2 = 0,96$$

**Figura 5.5** – Número de espigas por hectare do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.

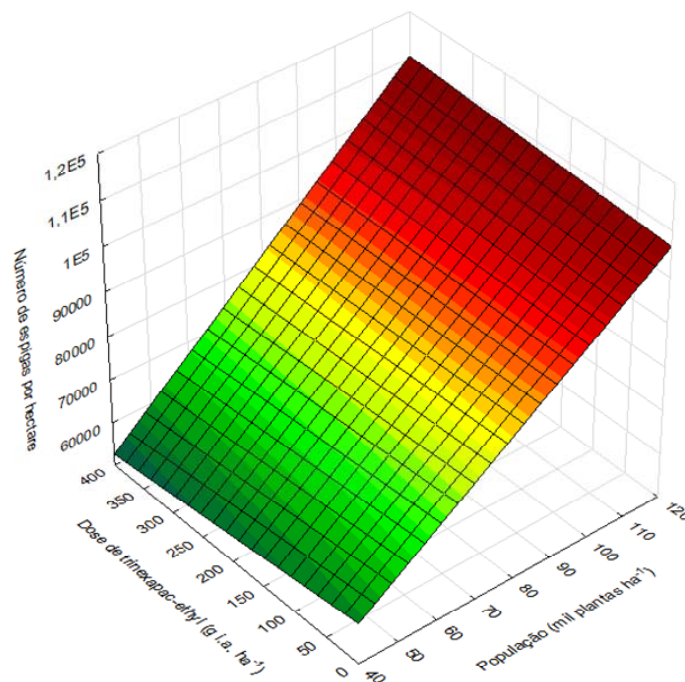


$$\hat{Y} = 8394,3 + 798,90 * P \quad R^2 = 0,96$$

Não foi observado efeito do TE sobre o número de espigas por

hectare para o híbrido 2B710 HX na safra 2 (Figura 5.5). O híbrido STATUS TL, na mesma safra, apresentou interação entre as populações e as doses de TE, em que nas menores populações o TE proporcionou redução no número de espigas por hectare, assim como observado para ambos os híbridos na safra 1. No entanto, quando do uso de maiores populações de plantas o TE foi benéfico à cultura proporcionando incrementos no número de espigas por hectare (Figura 5.6).

**Figura 5.6** – Número de espigas por hectare do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 35519,8 + 592,45 * P - 29,709 * TE + 0,3280 * (P * TE) \quad R^2 = 0,90$$

Segundo Sangoi et al. (2002) a restrição na qualidade da luz que penetra no dossel tende a favorecer a dominância apical inibindo o desenvolvimento de gemas laterais, as quais são responsáveis pela formação das espigas. No entanto, alterações morfológicas na parte aérea das plantas de milho causadas pelo TE, como redução do comprimento e incremento na largura das folhas (ZAGONEL e FERREIRA, 2013), possivelmente facilitaram a penetração de luz no interior do dossel em altas populações e promoveram condições favoráveis a cultura produzindo um maior número de plantas com espiga.

O número de fileiras de grãos por espiga não foi alterado significativamente pelos fatores população de plantas e doses de TE, independente do híbrido e da safra agrícola, resposta que corrobora com o resultado observado por Zagonel e Ferreira (2013). A ausência de resposta da variável aos fatores aqui estudados se deve ao fato de que esta característica é fortemente determinada pelo genótipo e pouco pelo ambiente (NIELSEN, 2007).

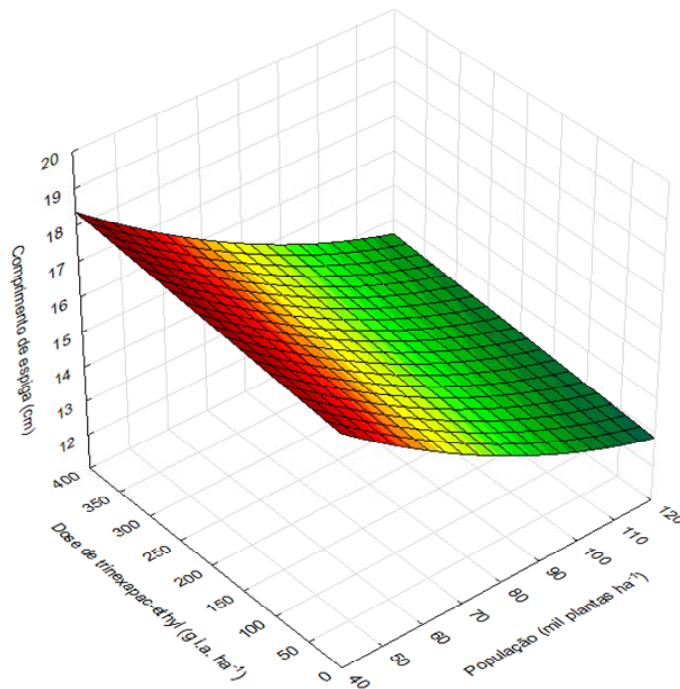
O incremento na população de plantas proporcionou redução do comprimento das espigas de milho independente da safra de cultivo e do híbrido utilizado (Figura 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10). O mesmo comportamento foi observado em trabalhos realizados por Pereira et al. (2008), Brachtvogel et al. (2009) e Lana et al. (2014).

O TE incrementou o comprimento das espigas nos híbridos 2B710 HX e STATUS TL na safra 1 (Figuras 5.7 e 5.8). As maiores doses do biorregulador promoveram incrementos da ordem de 0,68 e 0,80 cm por espiga, respectivamente. Não foi observado efeito do TE sobre o comprimento das espigas na safra 2 (Figuras 5.9 e 5.10).

Assim como observado para o comprimento da espiga, o número de grãos por fileira também apresentou redução conforme o incremento do número de plantas por hectare (Figuras 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14).

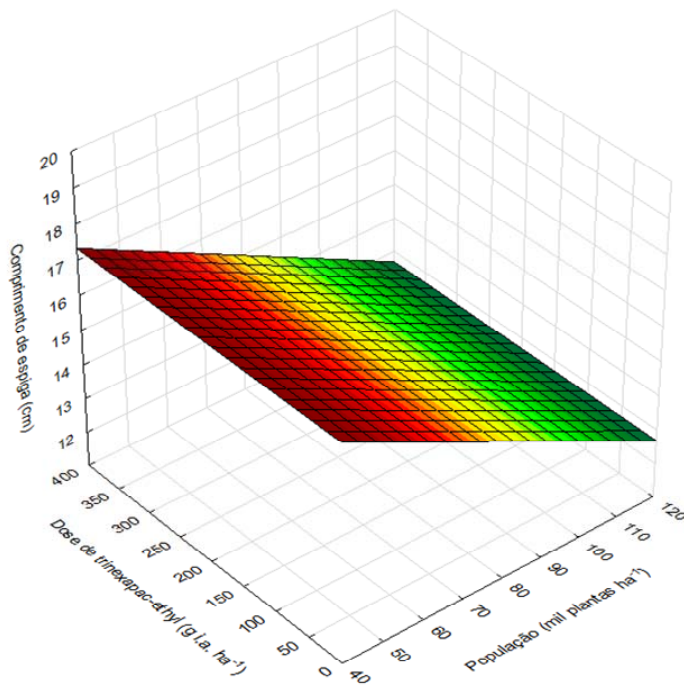
No período entre a antese e o início da fase de dilatação dos grãos é necessária à disponibilidade de grande montante de açúcares solúveis e nitrogênio, seja nas espigas ou estruturas próximas, pois esta disponibilidade se faz fundamental para manter a intensa atividade mitótica presente nos óvulos recém-fertilizado (SALVADOR E PEARCE, 1995). Desta forma, o uso de altas densidades de plantas promove limitações no suprimento de fotoassimilados às espigas logo após a fertilização, o que favorece o aborto de grãos que se apresentam em início de formação (SETTER et al., 2001). Como os grãos localizados na ponta da espigas são os últimos a serem fecundados e formados, o aborto destes devido déficit de carboidratos e compostos nitrogenados é mais acentuado (SANGOI et al., 2002), reduzindo o número de grãos por fileira, e conseqüente redução no comprimento da espiga, uma vez que o comprimento foi aferido da base da espiga até os últimos grãos na ponta da mesma.

**Figura 5.7** – Comprimento de espiga do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



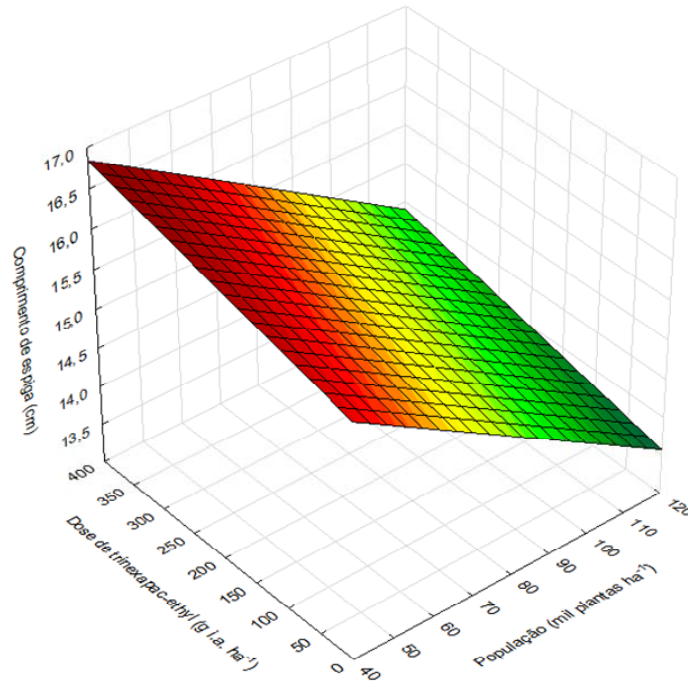
$$\hat{Y} = 21,781 - 0,1177 * P + 0,0017 * TE + 0,3606 e^{-3 * P^2} \quad R^2 = 0,89$$

**Figura 5.8** – Comprimento de espiga do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



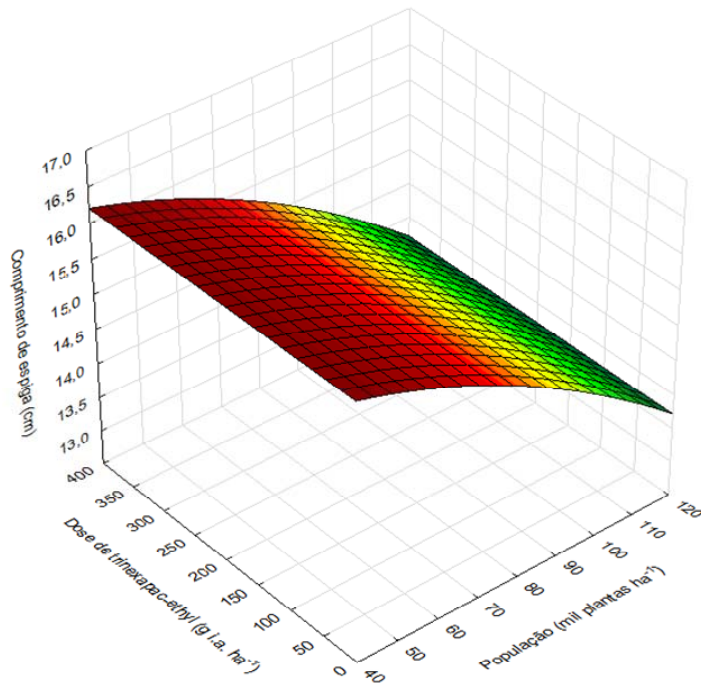
$$\hat{Y} = 19,655 - 0,0580 * P \quad R^2 = 0,84$$

**Figura 5.9** – Comprimento de espiga do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 17,235 - 0,0304 * P + 0,0020 * TE \quad R^2 = 0,86$$

**Figura 5.10** – Comprimento de espiga do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.

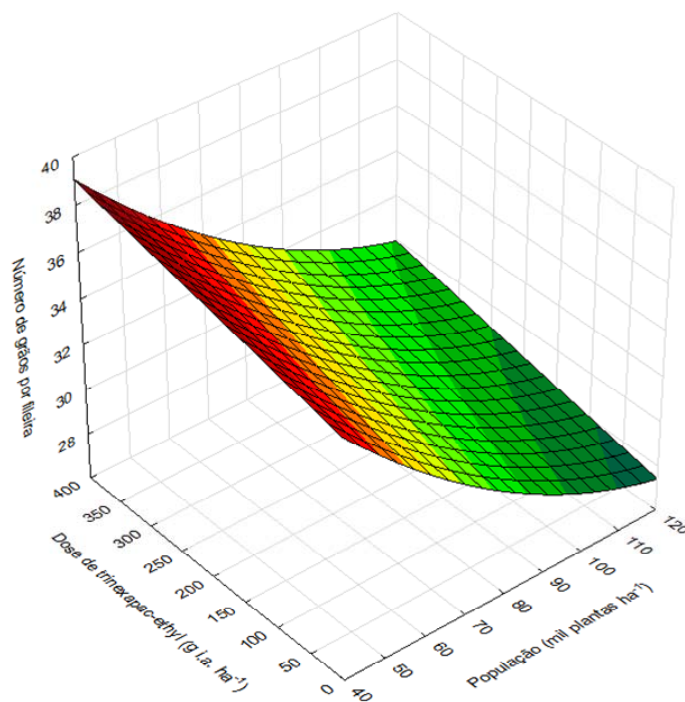


$$\hat{Y} = 16,518 - 0,1946e^{-3} * P^2 \quad R^2 = 0,88$$

Em consonância com o observado para o comprimento de espigas, foi observado incremento linear do número de grãos por fileira com o aumento das doses de TE para ambos híbridos na safra 1 (Figuras 5.11 e 5.12). O mesmo foi observado na safra 2 para o híbrido STATUS TL (Figura 5.14), não sendo observado efeito do biorregulador sobre esta característica no híbrido 2B710 HX (Figura 5.13).

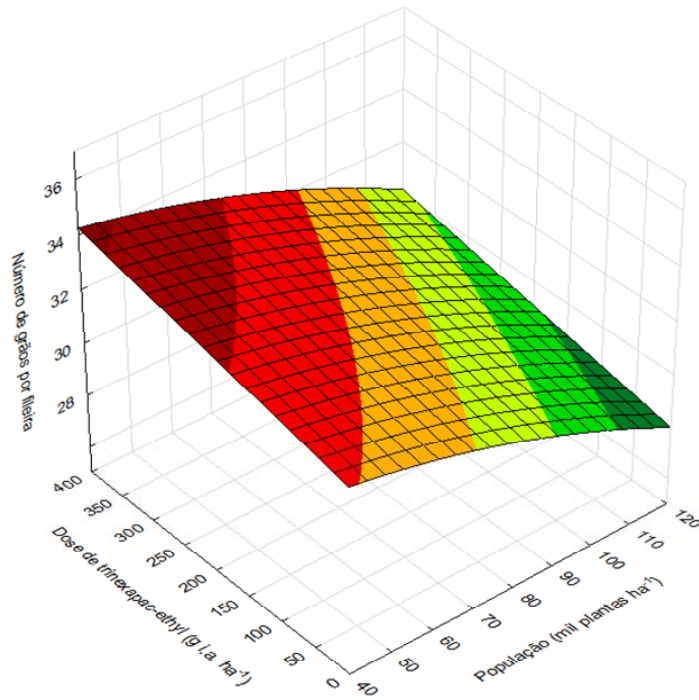
Zagonel e Ferreira (2013), não observaram efeitos das doses e épocas de aplicação do TE sobre o número de grãos por fileira do híbrido STATUS TL, nem do híbrido MAXIMUS TLTG, e atribuem o ocorrido à ausência de efeito do biorregulador na altura de plantas e em outras características morfológicas. No entanto, vale ressaltar que no estudo realizados por estes autores foi adotada população de plantas fixa (cerca de 67 mil plantas ha<sup>-1</sup>) e espaçamento entre linhas de plantio tradicional (0,8 m), justificando as divergências de respostas em relação a esse estudo.

**Figura 5.11** – Número de grãos por fileira do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



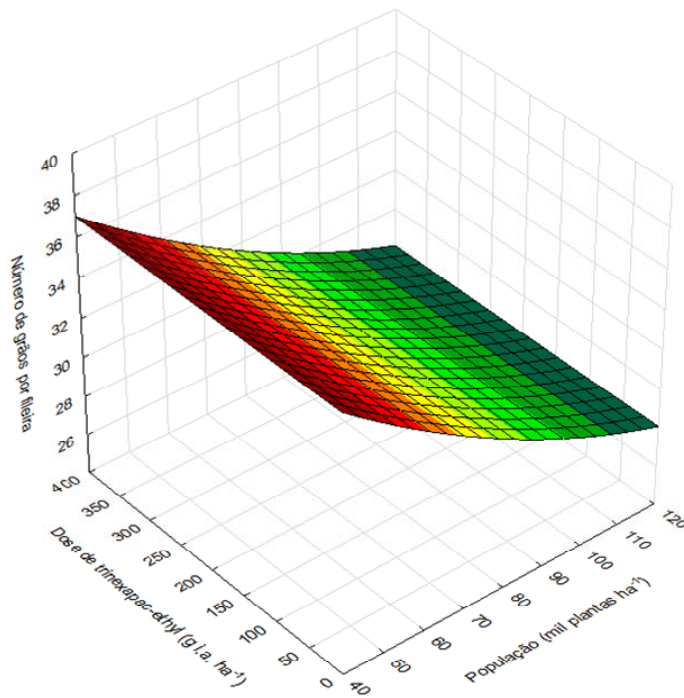
$$\hat{Y} = 45,324 - 0,2551 * P + 0,0062 * TE + 0,8830e^{-3} * P^2 \quad R^2 = 0,87$$

**Figura 5.12** – Número de grãos por fileira do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



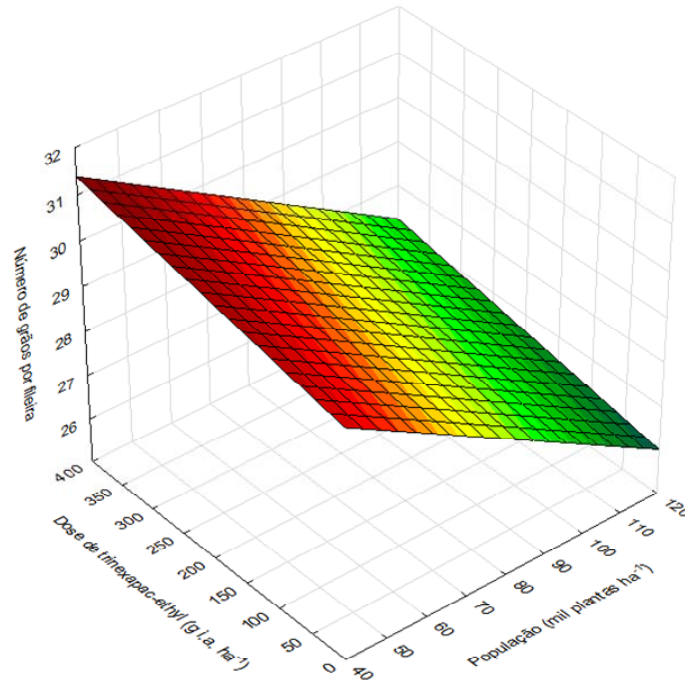
$$\hat{Y} = 32,572 + 0,0054 * TE - 0,3184e^{-3} * P^2 \quad R^2 = 0,81$$

**Figura 5.13** – Número de grãos por fileira do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 44,418 - 0,2094 * P + 0,6115e^{-3} * P^2 \quad R^2 = 0,88$$

**Figura 5.14** – Número de grãos por fileira do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 32,234 - 0,0518 * P + 0,0030 * TE \quad R^2 = 0,77$$

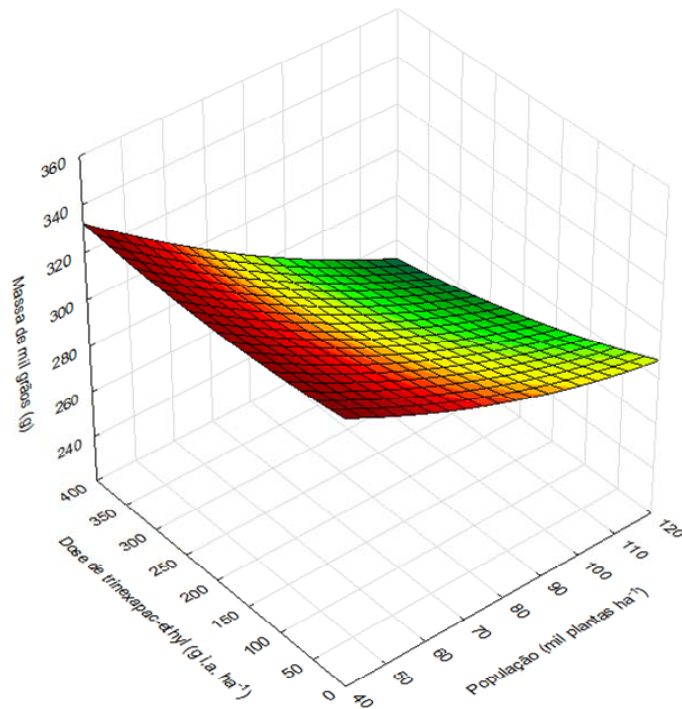
Normalmente os efeitos do TE sobre os componentes de produção e/ou produtividade de grãos na cultura do trigo e arroz são associados a modificações que o produto causa na morfologia das plantas, em especial alterações de altura de plantas e arquitetura de folhas (ARF et al., 2012; ALVAREZ et al., 2012; ESPINDULA et al., 2009a; ESPINDULA et al., 2010). Desta forma, supõe-se que o uso do TE tenha proporcionado alterações morfológicas nas plantas de milho que otimizaram o uso da luz incidente no dossel, aumentando a produção de fotoassimilados, favorecendo principalmente o desenvolvimento de óvulos presentes nas pontas das espigas, o que incrementou o número de grãos por fileira e o comprimento da espiga.

O incremento na população de plantas reduziu a massa de mil grãos independente da safra e do híbrido (Figuras 5.15, 5.16, 5.17 e 5.18). A redução na massa de grãos devido ao aumento da população de plantas corrobora com os trabalhos realizados por Pereira et al. (2008), Sangoi et al. (2009a), Strieder et al. (2008) e Lana et al. (2014). A redução na massa de mil grãos possivelmente ocorreu devido ao menor tamanho dos grãos (BRACHITVOGEL et al., 2009). Em altas populações aumenta-se o número de espigas por hectare, o que conseqüentemente

aumenta o número de grãos por área, reduzindo a disponibilidade de água, nutrientes e luz, reflexo da maior competição entre as plantas de milho.

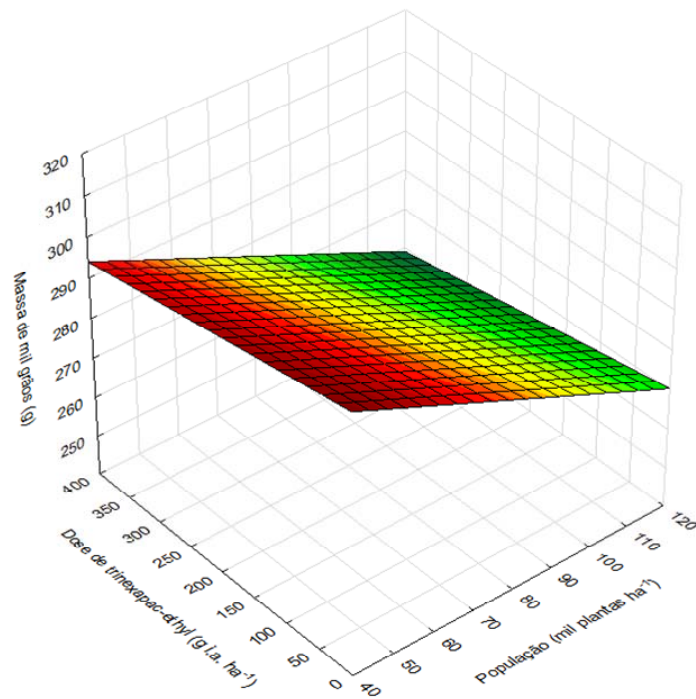
O efeito do TE sobre a massa de mil grãos do milho variou conforme o híbrido utilizado. O híbrido 2B710 HX apresentou redução na massa de mil grãos conforme o incremento nas doses de TE independente da safra de cultivo (Figuras 5.15 e 5.16). O aumento das doses de TE possivelmente reduziu a área foliar e altura de plantas (colmo), com conseqüente redução na quantidade de fotoassimilados utilizados no enchimento de grãos, assim como observado em trigo por Espindula et al. (2009a) e Espindula et al. (2011).

**Figura 5.15** – Massa de mil grãos do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



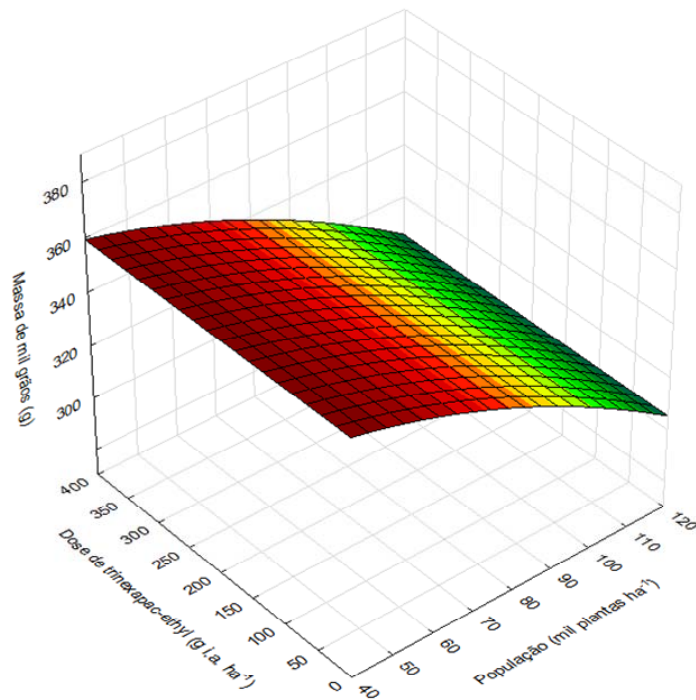
$$\hat{Y} = 374,71 - 1,1584 * P + 0,0036 * P^2 + 0,9500e^{-4} * TE^2 - 0,0010 * (P * TE) \quad R^2 = 0,90$$

**Figura 5.16** – Massa de mil grãos do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



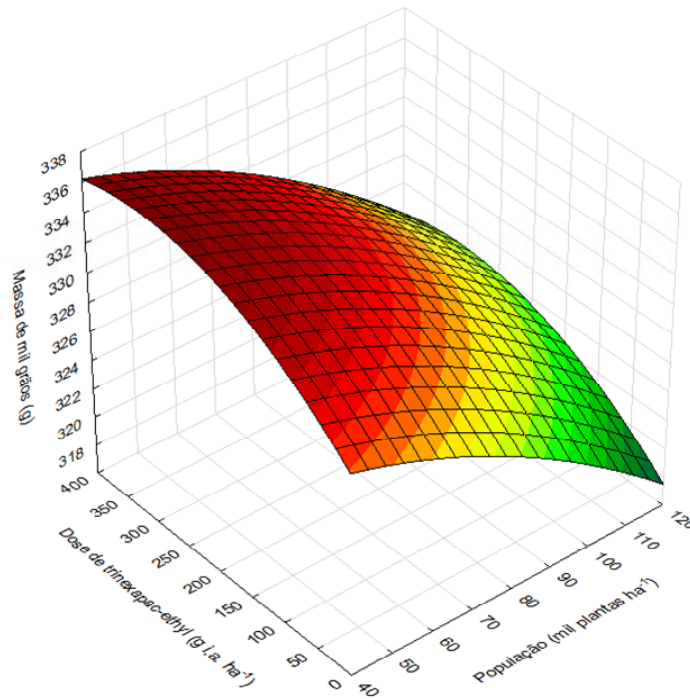
$$\hat{Y} = 322,93 - 0,4383 * P - 0,0283 * TE \quad R^2 = 0,76$$

**Figura 5.17** – Massa de mil grãos do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 366,02 - 0,0042 * P^2 \quad R^2 = 0,88$$

**Figura 5.18** – Massa de mil grãos do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 331,42 - 0,9674e^{-3}P^2 + 0,0444*TE - 0,7153e^{-4}TE^2 \quad R^2 = 0,71$$

Não foi observado efeito do TE sobre a massa de mil grãos do híbrido STATUS TL na safra 1 (Figura 5.17). Na safra 2, o híbrido apresentou incremento quadrático na massa de mil grãos com o uso do TE, sendo a dose de 310 g de i.a. ha<sup>-1</sup> responsável pelo maior valor (6,88 g) (Figura 5.18). Resultado semelhante foi observado por Zagonel e Ferreira (2013) com o mesmo híbrido, porém a máxima massa de mil grãos foi obtida com a dose de 272 g de i.a. ha<sup>-1</sup>. Espindula et al. (2011), observaram incremento quadrático da massa de mil grãos de trigo em resposta ao aumento das doses de TE e afirmam que esse incremento se deve a redução no acamamento das plantas.

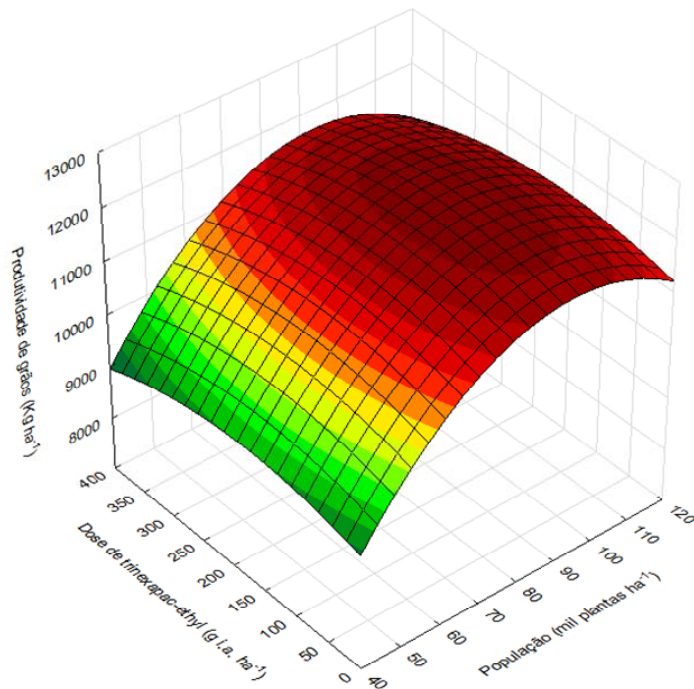
Assim como para o comprimento da espiga e o número de grãos por fileira, o uso do biorregulador TE possivelmente promoveu alterações na morfologia das plantas, em especial na sua altura e arquitetura, que resultaram em maior acúmulo de fotoassimilados nos grãos, incrementando a massa de mil grãos.

A produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX respondeu aos dois fatores estudados, sendo observados efeitos independentes da população de plantas e das doses de TE nas duas safras.

O incremento na população de plantas promoveu a produtividade de

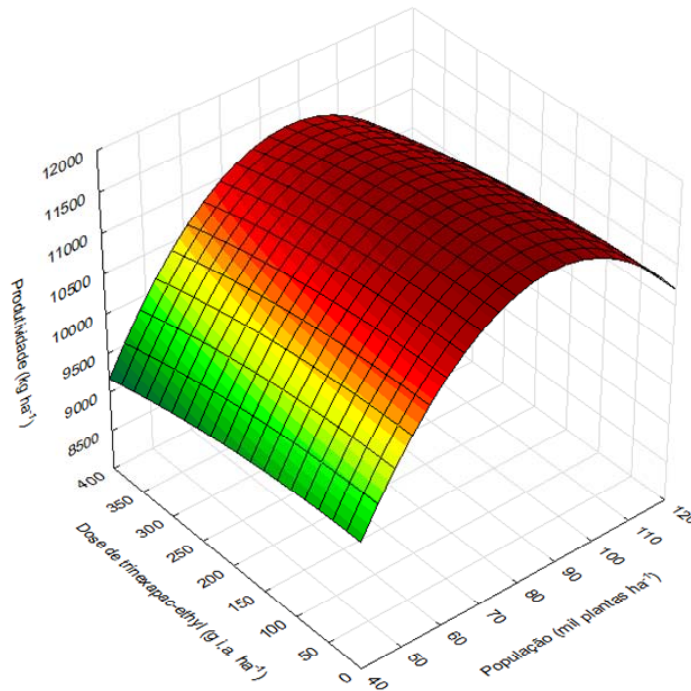
grãos de forma quadrática, sendo que na ausência do TE as maiores produtividades (11.857,7 e 11.712,5 kg ha<sup>-1</sup>) foram observadas com as populações de 93,4 e 87,1 mil plantas ha<sup>-1</sup> para as safras 1 e 2, respectivamente (Figuras 5.19 e 5.20). As máximas produtividades observadas na ausência do TE foram maiores que as produtividades obtidas com o uso da população de plantas recomendada pelo detentor do híbrido (65 mil plantas ha<sup>-1</sup>), nas duas safras (11.099,2 e 11.255,4 kg ha<sup>-1</sup>). Estes resultados demonstram que é possível o uso de maiores populações de plantas quando se dispõe de condições favoráveis e adequadas práticas de cultivo, como o uso do TE.

**Figura 5.19** – Produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 3667,3 + 175,32 * P + 3,7567 * TE - 0,9382 * P^2 - 0,0107 * TE^2 \quad R^2 = 0,93$$

**Figura 5.20** – Produtividade de grãos do híbrido 2B710 HX na safra 2 em resposta às populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 4585,7 + 163,75 * P - 0,9406 * P^2 - 0,0028 * TE^2 \quad R^2 = 0,79$$

A resposta da produtividade de grãos ao incremento na população de plantas confirma resultados observados em recentes estudos nesta área (BRACHTVOGEL et al., 2009; CASA et al., 2007; KAPPES et al., 2011; SANGOI et al., 2010 e SANGOI et al. 2013). Segundo os autores citados o rendimento de grãos por unidade de área aumenta linearmente com o aumento da população de plantas, até um ponto denominado “crítico”, no entanto, acima da população crítica, devido à competição ocorrida entre as plantas de milho, a produção por planta decresce e o rendimento de grãos por área apresenta comportamento quadrático. Em populações além desse ponto de máxima produção por área, a perda de produção individual é superior ao ganho com aumento de plantas por área, proporcionando redução no rendimento de grãos por hectare.

No híbrido 2B710 foram observadas respostas distintas nas duas safras para a produtividade de grãos em relação ao uso do biorregulador de plantas. Na safra 1 o uso do biorregulador promoveu o incremento de forma quadrática, sendo o incremento máximo de 329,7 kg ha<sup>-1</sup> com a dose de 176 g i.a. ha<sup>-1</sup>, independente da população de plantas utilizada (Figura 5.19). No entanto, na safra 2 o TE reduziu a produtividade de grãos, chegando a 448,0 kg ha<sup>-1</sup> na maior dose

(Figura 5.20). A redução na produtividade de grãos com o uso do TE também foi observada nas culturas do arroz de terras altas por Alvarez et al. (2007), Alvarez et al. (2012) e Alvarez et al. (2014) e no trigo por Contreras et al. (2012).

Possíveis alterações morfológicas ocasionadas pelo uso de TE na safra 1 sobre a altura de plantas e de inserção de espiga, índice de área foliar, comprimento, largura, angulação e disposição das folhas de milho proporcionaram a cultura um melhor aproveitamento da radiação solar incidente, favorecendo a produção de fotoassimilados, refletindo em acréscimo na produtividade de grãos. É ampla a literatura que infere este mesmo comportamento para o incremento em produtividade de grãos com o uso do TE nas culturas do trigo e arroz (BERTI et al., 2007; ESPINDULA et al., 2009a; ESPINDULA et al., 2009b; NASCIMENTO et al., 2009; ESPINDULA et al., 2011 e ARF et al., 2012;).

A diferença de resposta do híbrido nas duas safras possivelmente ocorreu devido à interação entre os fatores estudados e os fatores meteorológicos presentes em cada safra de cultivo. Penckowski (2009), afirma que a resposta da cultura do trigo ao uso do TE está diretamente associada a aspectos como a textura do solo, nível de fertilidade e condições meteorológicas.

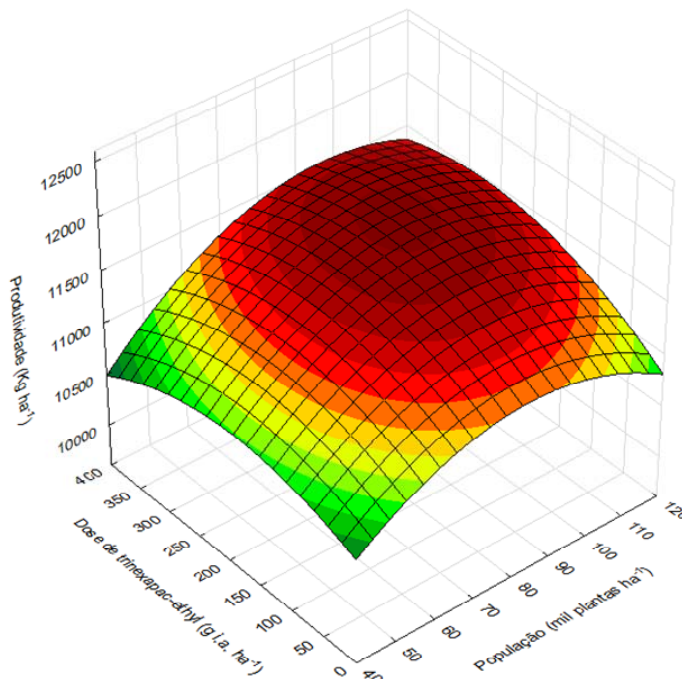
É provável que a possível restrição hídrica ocorrida na safra 2, no período compreendido entre 29 de janeiro a 27 de fevereiro (Figura 5.2), tenha afetado a resposta do híbrido 2B710 HX às doses de TE. Radin et al. (2003), estimam que a demanda por água pela cultura do milho neste período (estádios R3 e R4) seja de aproximadamente 150 mm, sendo registrado neste intervalo de 30 dias, apenas 10,1 mm. A falta de água disponível para as plantas neste período coincidiu com as fases de desenvolvimento e enchimento dos grãos, onde ocorrem com maior intensidade a divisão/expansão celular e o acúmulo de amido nos grãos de milho, comprometendo assim, o desenvolvimento do grão e a resposta do híbrido ao TE. A mesma intervenção do déficit hídrico na resposta da produtividade do híbrido 2B710 HX ao uso do TE se faz presente em seus componentes de produção, sendo observada redução na massa de mil grãos e ausência de resposta dos demais componentes estudados. O próprio uso de TE na cultura do trigo não é recomendado em caso de ocorrência de deficiência hídrica durante o desenvolvimento da cultura (RCBPTT, 2014).

Para a produtividade de grãos do híbrido STATUS TL, foi observada interação significativa entre os fatores populações de plantas e doses de TE, independente da safra de cultivo.

Em relação ao incremento da população de plantas, a produtividade respondeu de forma quadrática em ambas as safras (Figura 5.21 e 5.22). No entanto, na ausência do TE, a máxima produtividade da safra 1 foi obtida com a população de 84,0 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , o que corresponde a 11.224,8  $\text{kg ha}^{-1}$  (Figura 5.21). Já na safra 2, a maior produtividade (9.688,9  $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi obtida com a população de 120 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  e, mesmo obtendo resposta quadrática, o ponto de máxima produtividade (ponto crítico) não foi alcançado com as populações aqui estudadas (Figura 2.22).

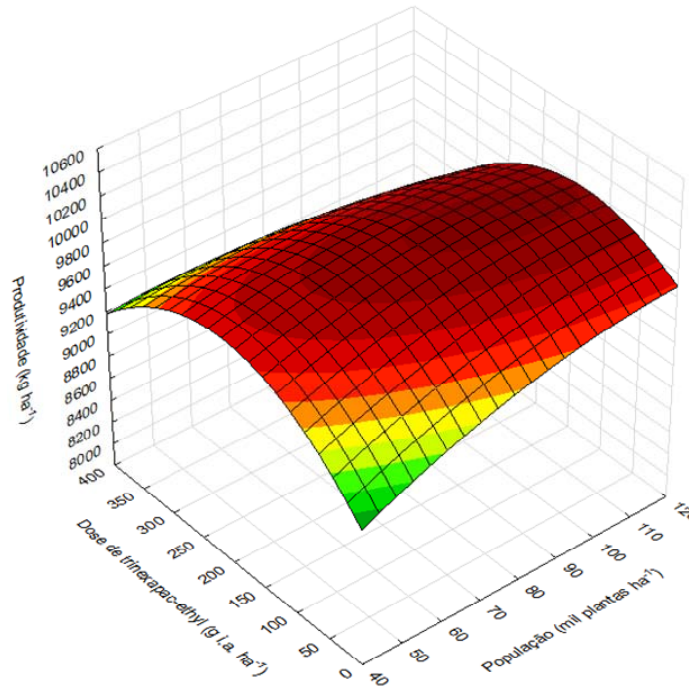
A resposta da produtividade ao incremento na população de plantas observada na safra 1 corrobora com o observado para o híbrido 2B710 HX, bem como, com outros estudos avaliando essa mesma causa de variação (CASA et al., 2007; BRACHTVOGEL et al., 2009; SANGOI et al., 2010; KAPPES et al., 2011 e SANGOI et al. 2013).

**Figura 5.21** – Produtividade de grãos do híbrido STATUS TL na safra 1 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 8949,1 + 54,207 * P + 2,2784 * TE - 0,3228 * P^2 - 0,0084 * TE^2 + 0,0210 * (P * TE) \quad R^2 = 0,89$$

**Figura 5.22** – Produtividade de grãos do híbrido STATUS TL na safra 2 em resposta as populações de plantas e doses de TE.



$$\hat{Y} = 8227,1 + 23,462 * P + 8,179 * TE - 0,0940 * P^2 - 0,0163 * TE^2 - 0,0308 * (P * TE) \quad R^2 = 0,83$$

A resposta quadrática da produtividade de grãos ao incremento da população de plantas na cultura do milho é frequente, porém, em alguns casos, devido à peculiaridade da interação ocorrida entre os genótipos e as condições do ambiente, o rendimento pode ser acrescido conforme o aumento da população de plantas sem que este atinja o ponto crítico, como observado na safra 2, e também em trabalhos realizados por Marchão et al. (2005); Casa et al. (2007) e Kappes et al. (2011).

Os programas de melhoramento de milho vêm buscando desenvolvimento de híbridos com potencial prolífico (ELIAS et al. 2010). Um dos interesses nos híbridos prolíficos está relacionado ao fato destes apresentarem maior tolerância a condições adversas, devido a sua capacidade inerente de desenvolver ao menos uma espiga sob estresse e mais de uma quando as condições ambientais são favoráveis. Assim, os híbridos prolíficos apresentam ampla faixa de densidade para maximizar o rendimento de grãos, o que não é observado nos não prolíficos (TOKATLIDIS e KOUTROUBAS, 2004). Assim, híbridos prolíficos como o STATUS TL tendem a responder positivamente a altas populações de plantas ou a estresses ambientais, devido à grande resistência à

esterilidade das plantas (SVECNJAK et al., 2006).

Em ambas as safras a população responsável pela máxima produtividade de grãos foi superior a população recomendada pelo detentor do híbrido STATUS TL (Syngenta®), que é de 70 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Os resultados demonstram que a interação entre genótipo e ambiente nas duas safras, apresentaram condições favoráveis à produtividade de grãos em altas populações de plantas.

Com a interação significativa entre a população de plantas e as doses de TE, a população de plantas referente à máxima produtividade de grãos (ponto crítico) foi alterada conforme o ano de cultivo, onde em ambas as safras o TE foi responsável por incrementos na produtividade de grãos.

Na safra 1, a máxima produtividade do híbrido STATUS TL passou a ser obtida com a população de 92,2 mil plantas ha<sup>-1</sup> aliada a dose de TE de 251,0 g i.a. ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 11.731,6 kg ha<sup>-1</sup>. Esse novo ponto crítico proporcionou a produção de 506 kg ha<sup>-1</sup> a mais que a máxima produtividade observada na ausência do TE (84 mil plantas ha<sup>-1</sup>) (Figura 5.21).

Na safra 2, a partir dos incrementos proporcionados pelo uso do TE, a população de plantas referente à máxima produtividade foi reduzida para 99,0 mil plantas ha<sup>-1</sup> associada à dose de TE de 157,5 g i.a. ha<sup>-1</sup>, proporcionando uma produtividade de grãos de 10.032,1 kg ha<sup>-1</sup>, 343,2 kg ha<sup>-1</sup> além do obtido na ausência do TE (Figura 5.22).

Além do efeito positivo do uso do TE sobre a produtividade de grãos do híbrido STATUS TL, foi observado que em condições normais de precipitação pluvial o TE promoveu maior incremento na produtividade quando relacionado às maiores populações de plantas (safra 1). Já com a ocorrência de déficit hídrico na safra 2, os maiores incrementos foram observados quando associados a menores populações.

Possíveis alterações na morfologia das plantas devidas o uso do TE reduziram os efeitos negativos das altas populações de plantas, proporcionando melhor aproveitamento da radiação solar incidente, incrementando o comprimento das espigas, o número de grãos por fileira e a massa de mil grãos resultando em incrementos na produtividade de grãos dos híbridos estudados. Resultado semelhante é mencionado na cultura do trigo por Nascimento et al. (2009), onde os autores obtiveram redução da altura de plantas e acamamento, o que resultou em

plantas mais compactas promovendo um melhor direcionamento de fotoassimilados para os grãos, incrementando a massa de 100 grãos, o peso hectolítrico e a produtividade de grãos.

Zagonel e Ferreira (2013) afirmam que a resposta do milho ao uso do TE não é frequente e varia em função de fatores como clima, cultivar, dose e época de aplicação. Esta afirmação é evidenciada quando comparados os resultados observados pelos autores e o presente estudo, em que os mesmos não observaram efeitos das doses e épocas de aplicação do TE sobre o híbrido STATUS TL, contrariando os resultados aqui obtidos.

O incremento na produtividade devido ao uso do TE obtido por Espindula et al. (2009a) na cultura do trigo foi atribuído a mudanças na arquitetura foliar das plantas promovidas pelo biorregulador, como folhas mais eretas, que diminuíram o autossombreamento e aumentaram a taxa fotossintética promovendo incrementos nos componentes de produção.

Os efeitos de população de plantas e doses do TE se apresentaram mais benéficos ao cultivo na safra 1, fato ocorrido devido as melhores condições de precipitação pluvial que favoreceram o desempenho produtivo da cultura.

Alguns componentes de produção em situações específicas podem ser reduzidos com o aumento das doses de TE, no entanto, o biorregulador promoveu o incremento da maior parte dos componentes aqui estudados, com maior evidência para o comprimento de espigas e o número de grãos por fileira. Assim, a possibilidade do emprego de maiores populações devido alterações na morfologia das plantas ocasionadas pelo TE tende a maximizar ainda mais a produtividade pelo aumento do número de espigas por área.

Perante a suposição de que o TE apresentaria melhores resultados para o híbrido 2B710 HX, devido sua característica de folhas planas, foi observado que o TE incrementou os componentes produtivos e a produtividade de grãos deste híbrido, no entanto, ganhos mais acentuados foram observados em ambas as safras para o híbrido STATUS TL, o qual apresenta folha ereta. Desta forma, devemos considerar que mesmo híbridos com características de plantas adaptados para o uso de altas populações podem ter seu potencial produtivo otimizado pelo uso da tecnologia dos biorreguladores de plantas.

Os resultados apresentados neste trabalho evidenciam o potencial existente do emprego de biorreguladores de plantas, sobre tudo o TE, como técnica

de manejo visando otimizar o aproveitamento da radiação solar pela cultura do milho incrementando sua produtividade de grãos. No entanto, a variabilidade dos resultados observados de acordo com o híbrido e a safra de cultivo deixa claro que o emprego do biorreguladores não se faz de forma simples, pois fatores inerentes às condições de cultivos, como a cultivar empregada, a fertilidade do solo, a nutrição das plantas e as condições meteorológicas são fundamentais para obtenção de resultados positivos. Assim, existe a necessidade de continuidade nos estudos do emprego do biorreguladores de plantas na cultura do milho, onde sua interação com técnicas de manejo como, arranjo de plantas, época de semeadura e adubação nitrogenada surgem como aspectos a serem abordados em novos estudos.

#### 5.4 CONCLUSÕES

O incremento na população de plantas aumenta o número de espigas por hectare, mas reduz o comprimento das espigas, o número de grãos por fileira e a massa de mil grãos, não alterando o número de fileira de grãos por espiga.

O biorregulador de plantas TE aumenta o comprimento das espigas e o número de grãos por fileira e reduz a massa de mil grãos do milho, principalmente em condições favoráveis de cultivo.

O trinexapac-ethyl interage com a população de plantas, alterando os componentes de produção de milho com aumento da produtividade de grãos, com ganhos variáveis de acordo com o ambiente e as características do cultivar.

## 5.5 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.D.; ALVAREZ, A.C.C. Aplicação de reguladores na cultura do arroz de terras altas. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, PR, v. 29, n. 2, p. 241-249, 2007.

ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S. Produtividade de arroz de terras altas em função de reguladores de crescimento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 1, p. 042-049, 2014.

ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; RODRIGUES, J.D.; HABERMANN, G. Gás exchange rates, plant height, yield components, and productivity of upland rice as affected by plant regulators. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1455-1461, 2012.

ANDRADE, F.H.; VEJA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTARERO, M.; VALENTINUZ, O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v.39, n.2, p.453-459, 1999.

ARF, O.; NASCIMENTO, V.; RODRIGUES, R.A.F.; ALVAREZ, R.C.F.; GITTI, D.C.; SÁ, M.E. Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 150-158, 2012.

BERTI, M.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Produtividade de cultivares de trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 127-134, 2007.

BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2334-2339, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399p.

CASA, R.T.; MOREIRA, E.N.; BOGO, A.; SANGOI, L. Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e rendimento de grãos em híbridos de milho submetidos ao aumento na densidade de plantas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, n.4, p.353-357, 2007.

COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, 2006. 10p. (Circular técnica 78).

CONTRERAS, R.L.G.; DUARTE, R.M.; DÍAZ, G.M.; CONTRERAS, F.R.; RAMIREZ, F.N. Effects of trinexapac-ethyl on different wheat varieties under desert conditions of Mexico. **Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 3, n 5, p. 658-662, 2012.

CRUZ, J.C.; PEREIRA, F.T.F.; PEREIRA FILHO, I.A.; OLIVEIRA, A.C.; MAGALHÃES, P.C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.1, p.60-73, 2007.

DAVIES, P.J. Introduction: The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and

Functions. **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!** 3. ed. Dordrecht: Springer, 2010. p. 1-6.

DAVIES, P.J. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. In: DAVIES, P.J. **Plant hormones and their role in plant growth and development**. (ed.) Netherlands: Kluwer Academic, 1987, p.1-23.

ELIAS, H.T.; VOGT, G.A.; VIEIRA, L.C.; PINHO, R.G.V.; NASPOLINI, V.; COVER, C. Melhoramento genético do milho. In: FILHO, J.A.W.; ELIAS, H.T. **A cultura do milho em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2010. Cap. 9, p. 414-480.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção: Cultura do milho**. [s.l.], 7ed. Versão eletrônica, 2011. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_7ed/autores.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/autores.htm)>. Acesso em: 02 maio 2012.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Segunda edição, Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 2006. 306p.

EMYGDIO, B.M.; TEIXEIRA, M.C.C. **Densidade de plantas e espaçamento entre linhas para o híbrido de milho BRS 1015**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 8p. (Circular Técnica, 72).

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; FONTES, P.C.R.; SILVA, R.C.C.; SOUZA, L.T. Effect of nitrogen and trinexapax-ethyl rates on the spad index of wheat leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 11, p. 1956-1964, 2009a.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; GROSSI, J.A.S.; SOUZA, M.A.; SOUZA, L.T.; VAVARATO, L.F. Use of growth retardants in wheat. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 379-387, 2009b.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, L.T.; SOUZA, M.A.; CAMPANHARO, M.; GROSSI, J.A.S. Rates of nitrogen and growth retardant trinexapac-ethyl on wheat. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2045-2052, 2011.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, L.T.; SOUZA, M.A.; GROSSI, J.A.S. Efeito de reguladores de crescimento na alongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.1, p. 109-116, 2010.

FARGERNESS, M.J. PENNER, D. Spray application parameters that influence the growth inhibiting effects of trinexapac-ethyl. **Crop Science**, Madison, n.38,p. 1028-1035, 1998.

FERNANDES, E.C. **População de plantas e regulador de crescimento afetando a produtividade de cultivares de trigo**. 2009. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-Pr, 2009.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.

HECKMAN, N.L.; ELTHON, T.E.; HORST, G.; GAUSSOIN, R.E. Influence of trinexapac-ethyl respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, Madison,

v. 42, n. 2, p. 423-427, 2002.

KAPPES, C.; ANDRADE, J.A.C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A.C.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P. Arranjo de plantas para diferentes híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.348-359, 2011.

LANA, M.C.; RAMPIM, L.; OHLAND, T.; FÁVERO, F. Spacing, population density and nitrogen fertilization in corn grown in an Oxisoil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 3, p. 424-433, 2014.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V.F.; SANTOS, D.; BENCKE, M.H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v.30, n.3, p.373-379, 2008.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; DUARTE, J.B.; GUIMARÃES, C.M.; GOMES, J.A. Densidades de plantas e características agronômicas de híbridos de milho em espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; XIMENES, P.A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos de milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 170-181, 2006.

MATYSIAK, K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v.46, n.2, p.133-143, 2006.

NASCIMENTO, V.; ARF, O.; SILVA, M.G.; BINOTTI, F.F.S.; RODRIGUES, R.A.F.; ALVAREZ, R.C.F. Uso de regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 921-929, 2009.

NIELSEN, R.L. Ear size determination in corn. **Corny News Network Articles**, [s.l.], Purdue University, 2007.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 107p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.

PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.2, p.56-60, 2003.

PENCKOWSKI, L.H. **Utilizando regulador de crescimento na cultura do trigo: Aspectos importantes para garantir bons rendimentos**. 2. Ed. Passo Fundo: Fundação ABC. 2009, 60p.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v.31, n.3, p. 473-479, 2009.

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 de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 69-74, 2008.

PIANA, A.T.; SILVA, P.R.F.; BREDEMEIER, C.; SANGOI, L.; VIEIRA, V.M.; SERPA, M.S.; JANDREY, D.B. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2608-2612, 2008.

RCBPTT - Reunião da Comissão Brasileira da Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para trigo e triticale – Safra 2014**. Londrina, 2014. 235 p.

RITCHIE, S.W. HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2003. 20p. (Informações Agronômicas, 103).

SALVADOR, R.J.; PEARCE, R.B. Proposed standard system of nomenclature for maize grain filling events and concepts. **Maydica**, Bérganmo, v. 40, n. 1, p. 141-146, 1995.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Bases morfológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, p. 101-110, 2002.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; SALDANHA, A.; FIORENTIN, C.F.; PLETSCHE, A.J.; VIERIA, F.; GATTELLI, M.A. Rendimento de grãos de híbridos de milho em duas densidades de plantas com e sem a retirada de perfilhos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 325-331, 2009a.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P.R.F.; SCHMITT, A.; VARGAS, V.P.; CASA, R.T.; SOUZA, C.A. Prefilamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46., n.6, p. 609-616, 2011.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Editora Graphel, 2007. 95p.

SANGOI, L.; ZANIN, C.G.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J. Senescência foliar e resposta de híbridos de milho liberados comercialmente para cultivo em diferentes épocas ao adensamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 1, p. 21-32, 2013.

SANGOI, L.; ZANIN, C.G.; SILVA, P.R.F.; SALDANHA, A.; VIEIRA, J.; PLETSCHE, A.J. Uniformidade no desenvolvimento e resposta de cultivares de milho ao incremento na população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 1, p. 69-81, 2009b.

SETTER, T.M.; FLANNINGAN, B.A.; MELKONIAN, J. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize: carbohydrate supplies, abscisic acid, and cytokinins. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 5, p. 1530-1540, 2001.

SILVA, P.R.F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. **Arranjo de plantas e**

**sua importância na definição da produtividade em milho.** Porto Alegre: Evangraf, 2006. 64p.

SOUZA, C.A.; FIGUEIREDO, B.P.; COELHO, C.M.M. Arquitetura de plantas e produtividade de soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 3, p. 634-643, 2013.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; RAMBO, L.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; ENDRIGO, P.C.; JANDREY, D.B. Características de dossel e rendimento de milho em diferentes espaçamentos e sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 309-317, 2008.

SVECNJAK, Z.; VARGA, B.; BUTORAC, J. Yield components of apical and subapical ear contributing to the grain yield response of prolific maize at high and low plant populations. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v. 192, n. 1, p. 37-42, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4<sup>a</sup> ed. Editora Artmed. 2009. 820p.

TOKATLIDIS, I.S.; KOUTROUBAS, S.D. A review of maize hybrids dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 103-114, 2004.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.2, p.331-339, 2007.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Doses e época de aplicação de regulador de crescimento em híbridos de milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 395-402, 2013.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

O incremento na população de plantas aumentou a altura de plantas, de inserção de espiga, o índice de área foliar, o número de espigas por hectare, mas reduziu o diâmetro do colmo, o comprimento das espigas, o número de grãos por fileira e a massa de mil grãos, não alterando o número de fileira de grãos por espiga.

O redutor de crescimento TE reduziu a altura de plantas e de inserção de espiga, possibilitando a utilização de maior densidade de plantas.

O TE promoveu alterações nos componentes de produção do milho com aumento no comprimento das espigas e no número de grãos por fileira e reduziu a massa de mil grãos do milho.

A produtividade do milho é incrementada pela interação de população de plantas e aplicação de TE, sendo as melhores combinações variáveis de acordo com o genótipo e o ambiente de cultivo. As maiores produtividades de grãos foram observadas nas combinações de 93,4 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  com a dose de 176 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  de TE para o híbrido 2B710 HX e 92,2 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  com a dose de 251 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  de TE para o híbrido STATUS TL.