

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

Felipe Arthur Baron

**SISTEMA MULTI-HÍBRIDOS NA CULTURA DO MILHO:
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA EM ZONAS DE MANEJOS**

Santa Maria, RS
2019

Felipe Arthur Baron

**SISTEMA MULTI-HÍBRIDOS NA CULTURA DO MILHO: VIABILIDADE
TÉCNICA E ECONÔMICA EM ZONAS DE MANEJOS**

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

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi

Santa Maria, RS
2019

© 2019

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

E-mail: felipe.baron@hotmail.com

Felipe Arthur Baron

**SISTEMA MULTI-HÍBRIDOS NA CULTURA DO MILHO: VIABILIDADE
TÉCNICA E ECONÔMICA EM ZONAS DE MANEJOS**

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

Aprovado em 27 de Agosto de 2019:

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

Claudir José Basso, Dr. (UFSM)

Gizelli Moiano De Paula, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, João e Geni, ao meu irmão Jonatas, minha namorada Andressa e aos meus tios Beto e Gilda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre me guiar e iluminar meu caminho, me concedendo sempre muita sabedoria saúde e felicidades.

À todos meus familiares, que de uma forma ou outra contribuíram e acreditaram em minha formação profissional e pessoal.

Em especial aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado e nunca mediram esforços para me fornecer tudo e até mais do que sempre precisava, sempre me apoiando e acreditando fortemente em todos meus objetivos.

À minha namorada que esteve ao meu lado em todo esse período me motivando e compreendendo os momentos difíceis e corridos que tivemos, assim como torcendo para que meus objetivos fossem alcançados e ajudando em tudo que possível.

À meu irmão, que sempre torceu por meu sucesso, me ajudando em tudo que possível e comemorando muito todas minhas conquistas.

Aos meus padrinhos Beto e Gilda, que também sempre me ajudaram em tudo que possível, me motivando e ficando sempre muito felizes com minhas conquistas.

À minha querida e especial muta Emma, que infelizmente não está mais entre nós, mas tenho absoluta certeza que ficaria muito feliz e orgulhosa em ver mais uma conquista minha.

Ao Professor Doutor Antônio Luis Santi, pela orientação que, desde o início da graduação, já passou de sete anos, mas não somente orientação acadêmica, também orientação e conselhos de vida, sempre com muita cautela, mas muito otimista e motivador.

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de aprendizado gratuito e de qualidade assim como ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão e todos os professores e envolvidos.

Cada indivíduo dedica tempo, energia, conhecimento... para cultivar a paz, desenvolver o bem... de acordo com o caráter e valores que têm.

(Dirceu Gassen)

RESUMO

SISTEMA MULTI-HÍBRIDOS NA CULTURA DO MILHO: VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA EM ZONAS DE MANEJOS

AUTOR: Felipe Arthur Baron
ORIENTADOR: Dr. Antônio Luis Santi

O Brasil encontra-se consolidado como 3º maior produtor de milho no mundo e 2º maior exportador, com um consumo doméstico do cereal elevado, uma vez que é um dos principais produtores mundiais de proteína animal. O uso de zonas de produtividade, definindo diferentes ambientes homogêneos dentro de uma área agrícola é uma ferramenta importante para o tratamento da variabilidade espacial. Desta forma, o aumento da população de plantas por área pode ser um fator importante para busca altos rendimentos. Entretanto a resposta da melhor população de plantas é dependente do híbrido em questão. Sendo assim existe uma população de plantas ideal para cada sistema de produção quando se busca altos rendimentos. O objetivo deste trabalho é identificar o melhor ajuste de população de plantas e híbridos de milho para duas zonas (alta e baixa) de produtividade. Experimentos com três híbridos de milho foram conduzidos no município de Boa Vista das Missões – RS, em uma área de produção agrícola, dotada de sistema de irrigação do tipo pivô central, na safra 2015/2016. Zonas de produtividade foram delineadas a partir da sobreposição de mapas de produtividade. Em cada zona de produtividade, foram testados três híbridos de milho, sendo: (a) Agroeste 1677 VT PRO3®, (b) BioGene 7318 YH e (c) Pioneer 1630 H. Em cada híbrido, foram testadas cinco população de plantas, sendo: (i) 60.000, (ii) 75.000, (iii) 90.000, (iv) 105.000 e (v) 120.000 plantas ha⁻¹. Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental de blocos ao acaso e arranjos em esquema tri-fatorial (2x3x5), com quatro repetições. A semeadura foi realizada em 30 de agosto de 2015, utilizando um espaçamento entrelinhas de 0,50 m. Foram avaliados seis componentes do rendimento e a produtividade de grãos da cultura. Através das equações obtidas para produtividade, determinou-se ainda, a máxima eficiência técnica e máxima eficiência econômica. Os parâmetros avaliados foram submetidos ao teste de normalidade e, posteriormente, à análise de variância (ANOVA) (p≤0,05). Verificada a significância pelo teste F, as médias dos fatores qualitativos (Zona de Produtividade e Híbrido) foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05), enquanto que as populações de plantas foram comparadas por meio de análise de regressão (p<0,05). Há um incremento médio na rentabilidade de 5,35 % com a utilização de um sistema multi-híbridos de semeadura. Mesmo trabalhando-se com um único híbrido por talhão, justifica-se o uso de taxa variada de sementes, necessitando, no entanto, conhecer-se de forma detalhada o híbrido que será utilizado. Há diferenças entre a ótima população de plantas para cada zona de produtividade, sendo que a amplitude de variação é extremamente dependente do híbrido que esta sendo trabalhado, necessitando e um ajuste pontual para cada genótipo.

Palavras-chave: Variabilidade espacial. *Zea mays* L. Rentabilidade.

ABSTRACT

MULTI-HYBRID SYSTEM IN CORN CROP: TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY IN MANAGEMENT ZONES

AUTHOR: Felipe Arthur Baron
ADVISOR: Dr. Antônio Luis Santi

Brazil is consolidated as the third largest maize producer in the world and the second largest exporter, with a high domestic consumption of cereal, as it is one of the world's leading producers of animal protein. The use of productivity zones, defining different homogeneous environments within an agricultural area is an important tool for the treatment of spatial variability. Thus, the increase in plant population per area may be an interesting factor in the search for high yields. However the response of the best plant population is dependent on the hybrid in question. Thus there is an ideal plant population for each production system when seeking high yields. The objective of this work is to identify the best adjustment of plant population and corn hybrids for two yield zones (high and low). Experiments with three maize hybrids were conducted in Boa Vista das Missões - RS, in an agricultural production area, with central pivot irrigation system, in the 2015/2016 agricultural year. Productivity zones were delineated from overlapping productivity maps. In each yield zone, three maize hybrids were tested: (a) Agroeste 1677 VT PRO3®, (b) BioGene 7318 YH and (c) Pioneer 1630 H. In each hybrid, five plant populations were tested: (i) 60,000, (ii) 75,000, (iii) 90,000, (iv) 105,000 and (v) 120,000 plants ha⁻¹. The experiments were conducted in a randomized block design and arranged in a tri-factorial scheme (2x3x5), with four replications. Sowing was performed on August 30, 2015, using a spacing of 0.50 m between rows. Six components of yield and grain yield were evaluated. Through the equations obtained for productivity, the maximum technical efficiency and maximum economic efficiency were determined. The parameters evaluated were submitted to the normality test and subsequently to the analysis of variance (ANOVA) ($p \leq 0.05$). Significance was verified by the F test, the means of the qualitative factors (Productivity Zone and Hybrid) were compared by the Tukey test ($p < 0.05$), while plant population were compared by regression analysis ($p < 0.05$). There is an average increase in yield of 5.35% with the use of a multi-hybrid sowing system. Even working with a single hybrid per field justifies the use of varied seed rate, however, it is necessary to know in detail the hybrid that will be used. There are differences between the optimum plant population for each yield zone, and the range of variation is extremely dependent on the hybrid being worked, requiring a timely adjustment for each genotype.

Keywords: Spatial variability. *Zea mays* L. Profitability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Evolução da área de cultivo, produtividade e produção no Brasil da cultura do Milho (1ª Safra) no período de 1976 a 2019. 14
- Figura 2 - Localização geográfica da área de realização do experimento situada no Brasil (A), estado do Rio Grande do Sul (B), município de Boa Vista das Missões (C)... 17
- Figura 3 – Precipitação pluviométrica, irrigação, lâmina de água acumulada e temperatura durante o desenvolvimento da cultura do milho. 22
- Figura 4 - Produtividade em Mg ha^{-1} dos híbridos Agroeste 1677 VTPRO3 (A), BioGene 7318 YH (B) e Pioneer 1630 H (C) para as população de plantas avaliadas em mil plantas por hectare, nas as zonas de alta (ZA) e baixa (ZB) produtividade 24
- Figura 5 - Média dos valores nas zonas de alta e baixa produtividade, dos componentes de rendimento peso de mil grãos (PMG), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), comprimento da espiga (CE) e diâmetro da espiga (DE) para as população de plantas avaliadas (em mil plantas por hectare).. 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do solo nas zonas de baixa (ZB) e alta (ZA) produtividade e para as profundidades de 0,00-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,30m.	18
Tabela 2 - Características dos híbridos de milho testados em cada zona de produtividade.	19
Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as variáveis produtividade (PROD), peso de mil grãos (PMG), número de fileiras (NF), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), comprimento da espiga (CE) e diâmetro da espiga (DE)	23
Tabela 4 - Rentabilidade líquida real obtida com o melhor ajuste da população de plantas para cada híbrido em cada ambiente (ZP).....	25
Tabela 5 - Valores dos componentes de produtividade: número de fileiras (NF), número de grãos por espiga (NGE) e diâmetro da espiga (DE) do experimento.....	28
Tabela 6 - Valores dos componentes de produtividade de número de grãos por fileira (NGF), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE) e peso de mil grãos (PMG).....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1	A CULTURA DO MILHO.....	14
2.2	VARIABILIDADE ESPACIAL.....	15
2.3	MANEJO POR AMBIENTE.....	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
5	CONCLUSÕES.....	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão passou a trabalhar ao longo dos anos com manejos regionalizados do solo e da cultura, o qual envolve conhecimento e uso de informações sobre a variabilidade, tais como propriedades locais da lavoura e ainda condições climáticas e outros fatores envolvidos, que irão compor e interferir na produtividade final de cada parte de um talhão agrícola. Tais fatores podem ser variáveis ao longo do espaço e do tempo, sendo desta maneira muito importante o conhecimento dessa variabilidade espacial e temporal para buscas de altas produtividades (CORÁ et al, 2004).

O uso de zonas de produtividade, definindo diferentes ambientes homogêneos dentro de uma área agrícola é uma ferramenta importante para o tratamento da variabilidade espacial (MORAL et al., 2011; FARID et al., 2015). Vários pesquisadores relatam que variabilidade espacial pode ser melhor geridas dentro de um campo de produção através da definição de zonas específicas de manejo, cada uma com uma condição semelhante de resposta para uma determinada característica de planta (KITCHEN et al., 2005; MORAL et al., 2011; FARID et al., 2015). O emprego de zonas de produtividade vem se caracterizando como uma ferramenta importante para uma melhor gestão de insumos e incremento em produtividade das culturas.

A população de plantas é um componente de produtividade muito importante para a cultura do milho (*Zea mays* L.) (ASSEFA et al., 2016). Este componente de produtividade interfere diretamente no rendimento final de grãos, pois a cultura do milho possui uma pequena (praticamente desprezível) capacidade de emissão de afilhos férteis, além de possuir uma organização floral monóica e ainda um curto período de florescimento (SANGOI, 2001).

Desta forma, o aumento da população de plantas por área pode ser um fator importante para busca altos rendimentos (STANGER e LAUER, 2006; SILVA et al., 2010; CIAMPITTI e VYN, 2012). Porém, quando não há condições favoráveis para um ótimo desenvolvimento da cultura, altas populações de plantas podem acabar limitando o potencial produtivo da cultura (CIAMPITTI e VYN, 2012; CIAMPITTI et al., 2013).

Entretanto, a resposta da melhor população de plantas é dependente do híbrido em questão (SANGOI et al., 2002). Lashkari et al. (2011) concluíram que existe uma população de plantas ideal para cada sistema de produção quando se busca altos rendimentos.

Sendo assim, híbridos de milho apresentam diferentes respostas em produtividade dependendo do ambiente em que estão alocados, assim como zonas de manejo diferentes, requerem também populações de plantas diferentes para que os híbridos possam expressar seu máximo potencial produtivo.

Desta forma, é possível definir manejos diferenciados para cada ambiente, tais como ajuste da população de plantas (KITCHEN et al., 2005) e híbridos ideais para o rendimento esperado em cada sítio específico (SANGOI et al., 2002; ASSEFA et al., 2016), trabalhando-se com um sistema multi-híbridos e taxa variada de semeadura. Desta maneira, pode-se haver um ganho em produtividade quando combina-se o híbrido ideal, com a população de plantas adequada que o permita um bom desenvolvimento para cada ambiente.

Entretanto, precisa-se avaliar ainda a viabilidade de se trabalhar com mais de um híbrido em um mesmo talhão de produção agrícola, analisando o ganho em produtividade e também rentabilidade da utilização de um sistema multi-híbrido com semeadura a taxa variada, comparando com a semeadura convencional. O objetivo deste trabalho é identificar o melhor ajuste de população de plantas e híbridos de milho para diferentes zonas de produtividade.

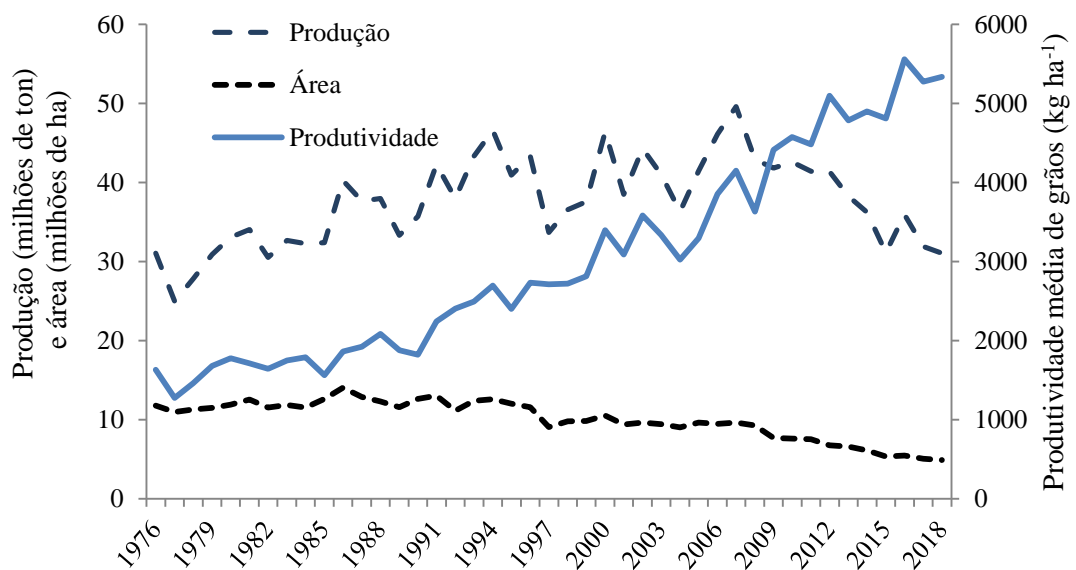
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A CULTURA DO MILHO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo todo. O Brasil encontra-se consolidado como 3º maior produtor de milho no mundo e 2º maior exportador, com um consumo doméstico do cereal elevado, uma vez que é um dos principais produtores mundiais de proteína animal. Nos últimos cinco anos, a dinâmica da cadeia produtiva do milho mudou significativamente no país, visto que o grão deixou de ser apenas um produto destinado à alimentação animal, passando a ser também uma commodity exportável, e se firmar como uma matriz energética na produção de etanol. Neste contexto, este cereal se configura no cenário do agronegócio brasileiro como um dos mais importantes (CONAB, 2018).

Na Figura 1, pode-se observar o comportamento da evolução de área de cultivo, produtividade e produção da cultura do milho (1ª Safra) no período de 1976 a 2019. Percebe-se um crescimento de 35,81 % da produção total brasileira ao longo desses 43 anos, mesmo com uma redução de 58,45 % na área total cultivada. Isso somente foi possível devido ao expressivo aumento da produtividade média por hectare ao longo dos anos, passando de uma produtividade média de 1.632 kg ha⁻¹ em 1976/77, para 5.335 kg ha⁻¹ em 2018/19, representando um aumento de 226,91 % ao longo desse período.

Figura 1 - Evolução da área de cultivo, produtividade e produção no Brasil da cultura do Milho (1ª Safra) no período de 1976 a 2019.



Fonte: Dados disponibilizados pela Conab (2019), gráfico elaborado pelo autor.

Os dados da Figura 1 são referentes a milho safra, devido a esta ser a realidade do experimento em questão e também por haver a separação das informações por parte da Conab. Salienta-se, no entanto, que milho safrinha também possui uma importância grande na composição da produção total brasileira, podendo representar, muitas vezes, uma percentagem de produção até maior que o milho safra ao final do ano agrícola.

Diante deste cenário, percebe-se que ainda há oportunidade de crescimentos expressivos em produtividades de milho para os próximos anos, visto que já existem áreas comerciais agrícolas produzindo mais de 12.000 kg ha⁻¹ em algumas regiões brasileiras.

2.2 VARIABILIDADE ESPACIAL

A agricultura de precisão (AP) é uma ferramenta muito útil para a determinação da variabilidade espacial de uma área. Diante disto, em muitas áreas agrícolas manejadas com auxílio dessa tecnologia tem-se observado zonas com diferentes potenciais produtivos de rendimento de grãos (SANTI et al., 2013).

A causa da variabilidade espacial de uma área pode estar relacionada a fatores de manejo do produtor, como fertilidade, eficiência do sistema de plantio direto, compactação, palhada na superfície do solo, entre outros. Porém, algumas vezes, está relacionada a fatores difíceis de serem manejados, como o relevo, o brilho solar, a textura do solo e as condições hídricas do local (AMADO et al., 2005).

Desta forma, torna-se indispensável detalhar-se a variabilidade espacial dos principais fatores que interferem no desenvolvimento da cultura, assim como definir qual o impacto desses na produtividade final de grãos e também como caracteriza-se essa variabilidade dentro de cada talhão agrícola (SILVA et al., 2007). Rocha e Lamparelli (1998), citam que o conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode ser muito importante para uma correção mais precisa e eficiente dos corretivos e fertilizantes, assim como otimizar os custos da utilização dos insumos, aplicando realmente o que é necessário em cada parte da lavoura, sendo este inclusive um fator benéfico para o meio ambiente.

Sendo assim, é muito importante encontrar uma estratégia para aumentar a produtividade de cada local da lavoura, o que pode ser alcançado através de correção dos locais de menor potencial produtivos visando uma área mais homogênea. Porém, é preciso encontrar uma alternativa viável para o aumento da produtividade em cada zona de manejo a curto prazo, como alocar plantas que se adaptem a cada ambiente de cultivo, estudando o comportamento das mesmas, alocando-as de forma que as proporcione o máximo rendimento

para o ambiente em questão. Desta forma, deve-se buscar uma estratégia para zonas de manejo, que, a curto prazo, torne a produtividade mais homogênea, maximizando o rendimento de grãos das culturas (HÖRBE et al., 2013).

2.3 MANEJO POR AMBIENTE

A importância do manejo por ambiente já vem sendo estudada por muitos autores (Caliskan et al., 2007; Fulton et al., 2010; Hörbe et al., 2013; Sangoi, 2001; Norsworthy e Shipe, 2005; Corassa, 2015). Caliskan et al. (2007) salientam que não existe um único e determinado manejo para todos os ambientes e para todas as cultivares. Desta forma, se torna necessário trabalhar de forma diferenciada em cada local do talhão. Segundo Fulton et al. (2010) e Hörbe et al. (2013), práticas como estas se mostraram bastante eficientes para a cultura do milho. Esses mesmo também verificaram que a utilização da variação de população de plantas, buscando a população ideal para cada ambiente de produção pode ser uma alternativa bastante eficiente para o aumento de produtividade.

Sangoi (2001) cita que quando se trabalha com a cultura do milho, o ajuste da população populacional de plantas adequado, parece ser um fator que apresenta bastante incremento em produtividade, o que pode ser otimizado quando detalha-se o comportamento de cada híbrido em cada ambiente.

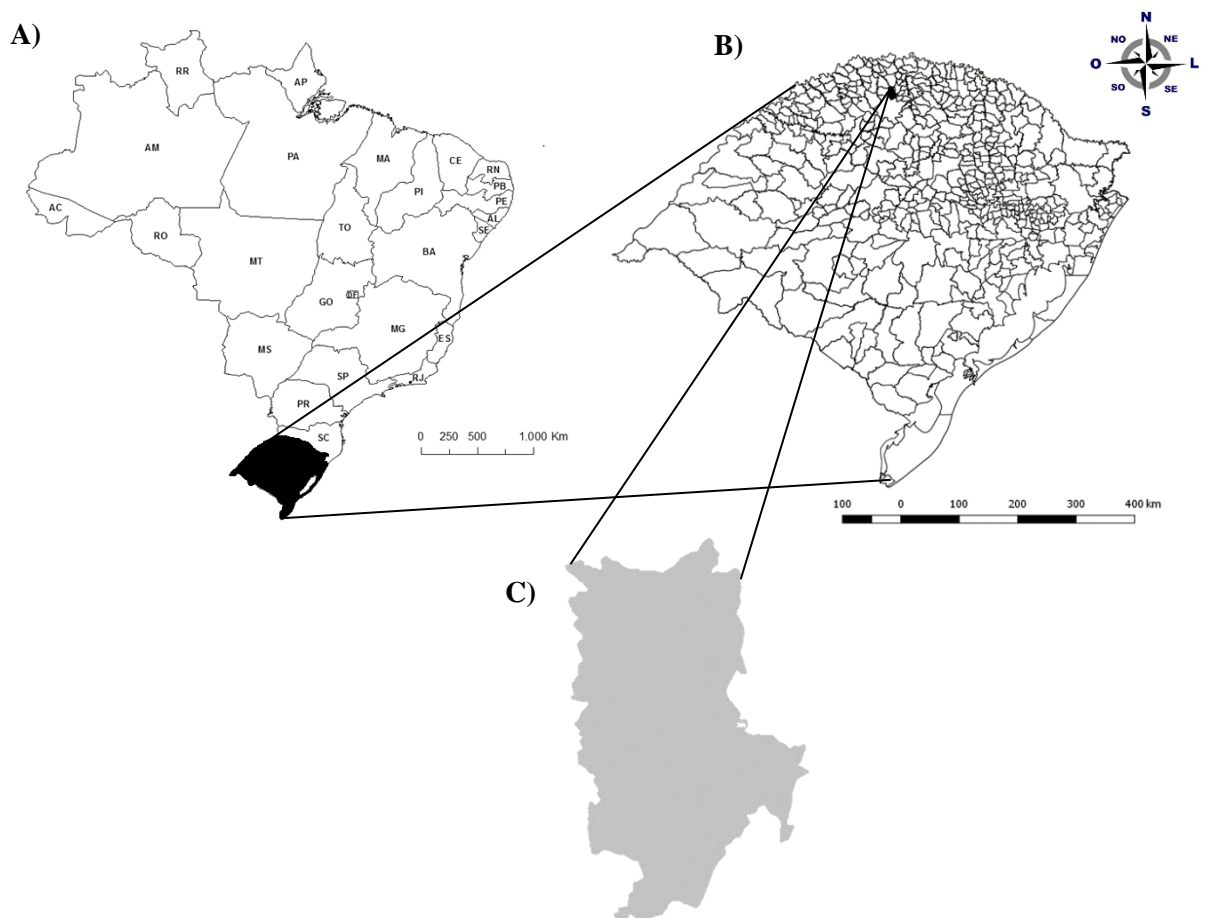
Norsworthy e Shipe (2005) encontraram êxito em trabalhos realizados, alertando para a necessidade de se agruparem cultivares que sejam responsivas para o manejo em questão, e para a importância de um posicionamento correto das mesmas dentro da mesma área agrícola. Corassa (2015) trabalhando com a cultura da soja salienta que o posicionamento de cultivares em função do ambiente com diferentes potenciais de produtividades de grãos (multi-cultivares) pode contribuir para o aumento da produtividade de um talhão.

Da mesma maneira, a escolha de um híbrido ideal para cada zona de manejo de um talhão pode também, ser um fator muito importante de ser estudado, pois dependendo da rusticidade ou da adaptação do híbrido de milho para um ambiente muito favorável, ou pouco favorável, sua resposta em produtividade também pode ser diferente para cada local.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Experimentos com híbridos de milho foram conduzidos em uma área de produção agrícola, dotada de sistema de irrigação do tipo pivô central, na safra 2015/2016. A área experimental, com 32 ha, está situada no município de Boa Vista das Missões – RS (Figura 2), entre as coordenadas geográficas de 27°43'07"S - 53°20'20"O e 27°43'38"S - 53°20'21"O.

Figura 2 - Localização geográfica da área de realização do experimento situada no Brasil (A), estado do Rio Grande do Sul (B), município de Boa Vista das Missões (C).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

O clima da região de acordo com Maluf (2000) é do tipo subtropical de primavera úmida (STPU) com temperatura média anual de 18,1°C e precipitação pluvial anual média de 1.919 mm.

O relevo característico da região é suave ondulado e o solo presente na área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006). A área vem sendo manejada sob sistema plantio direto (SPD) a mais de 15 anos, com

cultivos rotacionados de soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) no verão e trigo (*Triticum aestivum* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) no inverno.

Zonas de produtividade (ZP) foram delineadas a partir da sobreposição de quatro mapas de produtividade (BLACKMORE, 2000; MOLIN, 2002; SANTI et al., 2013). Os mapas foram obtidos entre os anos de 2008 a 2014 e provenientes das culturas de milho (safra 2008/2009), aveia branca (2009), milho (2011/2012) e soja (2013/2014). Os dados foram coletados através de uma colhedora CASE® modelo Axial-Flow 2399 (CNH Industrial Group), equipada com um receptor de posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite Systems) com correção por algoritmo interno, sensor de produtividade do tipo placa de impacto (Ag Leader Technology, Ames, IA) e sensor de umidade.

Visando eliminar erros de posicionamento e valores de produtividade inconsistentes todos os mapas passaram pelo processo de filtragem (BLACKMORE E MOORE, 1999; MENEGATTI E MOLIN, 2004). Posteriormente, os mapas foram relativizados e o número de pontos reduzido para uma mesma malha (30 x 30m) utilizando um raio de busca de 30m. Para o experimento, duas zonas de produtividade distintas foram consideradas, sendo: zona de baixa produtividade (ZB) (<95%) e zona de alta produtividade (ZA) (> 105%) (MOLIN, 2002). O tratamento dos mapas e a delimitação das ZP foi realizado utilizando o software Quantum Gis Software (QGIS Development Team, 2015). Antes da implantação dos experimentos, uma caracterização química detalhada em cada ZP foi procedida (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química do solo nas zonas de baixa (ZB) e alta (ZA) produtividade e para as profundidades de 0,00-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,30m.

	Profundidade	Argila	MO*	V	pH água	P	K	Al	Mg	Ca	CTC
ZP	(m)	-----	(%) -----	-----	(1:1)	-- (mg dm ⁻³) --	-----	(cmol _c dm ⁻³) -----	-----	-----	-----
	0,00 - 0,10	55	3,8	62,1	5,4	34,0	104,0	0,5	3,0	6,7	16,0
ZA	0,10 - 0,20	71	2,9	57,9	5,4	8,9	18,0	0,8	2,8	5,6	14,5
	0,20 - 0,30	74	2,5	45,1	5,2	3,3	3,6	1,5	2,3	4,0	13,8
	0,00 - 0,10	73	3,1	66,1	5,7	16,1	94,0	0,3	3,4	6,5	15,2
ZB	0,10 - 0,20	79	2,4	69,6	5,9	2,9	23,0	0,1	3,4	5,9	13,5
	0,20 - 0,30	81	2,0	62,6	5,8	1,4	5,2	0,3	2,9	4,4	11,6

* MO= Matéria orgânica; V= Saturação de bases; pH= Água 1:1; P= Fósforo extraído por Mehlich-1; K= Potássio extraído por Mehlich-1; Al= Alumínio; Mg= Magnésio; Ca= Cálcio e CTC= Capacidade de troca de cátions pH 7.0.

Observa-se na Tabela 1 que há maiores valores no Alumínio na Zona de Alta produtividade, entretanto, os valores de Matéria Orgânica, desde a camada superficial, até a camada de 0,30 m são superiores na Zona de Alta produtividade. Desta forma, a Matéria Orgânica está complexando o Alumínio, não deixando este elemento tóxico disponível para as plantas, o que certamente está contribuindo para essas maiores produtividades históricas obtidas.

Em cada ZP, foram testados três híbridos de milho, sendo: (a) Agroeste 1677 VT PRO3[®] (Monsanto Technology LLC, St. Louis, MO), (b) BioGene 7318 YH (DuPont, Pioneer, Johnston, Iowa) e (c) Pioneer 1630 H (DuPont, Pioneer, Johnston, Iowa). A descrição detalhada de cada híbrido é apresentada na Tabela 2. Em cada híbrido, foram testadas cinco populações de plantas, sendo: (i) 60.000, (ii) 75.000, (iii) 90.000, (iv) 105.000 e (v) 120.000 plantas ha⁻¹.

Tabela 2 - Características dos híbridos de milho testados em cada zona de produtividade.

Característica	Híbrido		
	AS 1677	BG 7318	P 1630
Tecnologia	VT PRO3 [®] (1)	Optimum [®] Intrasect [®] (2)	Herculex [®] (3)
Germoplasma	Simplex	Simplex	Simplex
Ciclo	Hiperprecoce	Superprecoce	Hiperprecoce
Estatura (m)	2,45	2,80	2,33
Inserção da espiga (m)	1,25	1,30	1,18
Textura do grão	Semidentado	Semidentado	Semiduro
Cor do grão	A/AL	A/AL	A/AL

(1) VT PRO 3[®]: Proteínas Bt, Cry3Bb1 (controle de *Diabrotica speciosa*) e Cry1A.105 e Cry2Ab2 (controle *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*, *Helicoverpa zea* e *Elasmopalpus lignosellus*) além da tecnologia RR (*Roundup ready*).

(2) Optimum[®] Intrasect[®]: Proteínas Bt Cry1F e Cry1Ab para controle *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*, *Elasmopalpus lignosellus*, *Helicoverpa zea*, *Agrotis ipsilon*, *Spodoptera eridania* e *Pseudaletia sequax*.

(3) Herculex[®]: Proteína Bt Cry1F para controle de *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis* e supressão de *Helicoverpa zea*.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental de blocos ao acaso e arrançados em esquema tri-fatorial (2x3x5), com quatro repetições, onde: as ZP compuseram as parcelas principais, os híbridos de milho (H) as sub-parcelas (80 m²) e as populações de plantas (PP) as sub-sub-parcelas (16 m²).

A semeadura manual foi realizada em 30 de agosto de 2015, utilizando um espaçamento entrelinhas de 0,50m. A adubação realizada no momento da semeadura foi de 32,4 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) e 82,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ [fosfato diamônio (18-46-00)], enquanto que, 120 kg ha⁻¹ de K₂O [cloreto de potássio (00-00-60)] foram aplicados em superfície, antecedendo a semeadura. Aplicações suplementares de N foram procedidas nos estádios V2 (60 kg ha⁻¹ de N), V4 (70 kg ha⁻¹ de N) e V6 (70 kg ha⁻¹ de N) (RITCHIE et al., 1993).

A produtividade foi mensurada através da colheita das linhas centrais de cada unidade experimental, excluindo as bordaduras. A colheita foi realizada em 27 de janeiro de 2016 para todos os híbridos, uma vez que os mesmo apresentavam ciclos semelhantes (Tabela 2). A umidade dos grãos (UG) foi corrigida para 130 g kg⁻¹. Em cada unidade experimental foram amostradas cinco espigas para a avaliação dos componentes de rendimento: número de fileiras por espiga (NF), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE) e peso de mil grãos (PMG).

Através das equações quadráticas obtidas para produtividade, determinou-se a máxima eficiência técnica (MET) e máxima eficiência econômica (MEE), pelos modelos matemáticos abaixo:

$$MET = -\frac{b_1}{2b_2} \quad MEE = \frac{\left(\frac{t}{w}\right) - b_1}{2b_2}$$

Sendo b₁ e b₂ os coeficientes angulares das equações, t o valor do insumo (semente) e w o valor do produto (milho em grão), onde utilizou-se o valor de R\$ 34,00 para o valor da saca (60 kg) de milho grão e os valores de sementes R\$ 680,00 para Agroeste 1677 VT PRO3[®]; R\$ 650,00 para BioGene 7318 YH; R\$ 500,00 para Pioneer 1630 H, para cada 60 mil sementes, sendo estes valores médios de mercado.

Através destes parâmetros de custo com semente e produtividade obtida (na MEE) elaborou-se comparativos de rentabilidade, onde fixou-se um custo médio para todos os tratamentos de R\$ 2.200,00 para insumos (exceto semente), mais um custo de R\$ 1.800,00 para parte operacional, mais custos fixos e após o valor da semente utilizada que variou de acordo com o híbrido e população trabalhada. Desta forma, chegou-se então a uma rentabilidade líquida real obtida com o melhor ajuste de população para cada híbrido em cada ambiente.

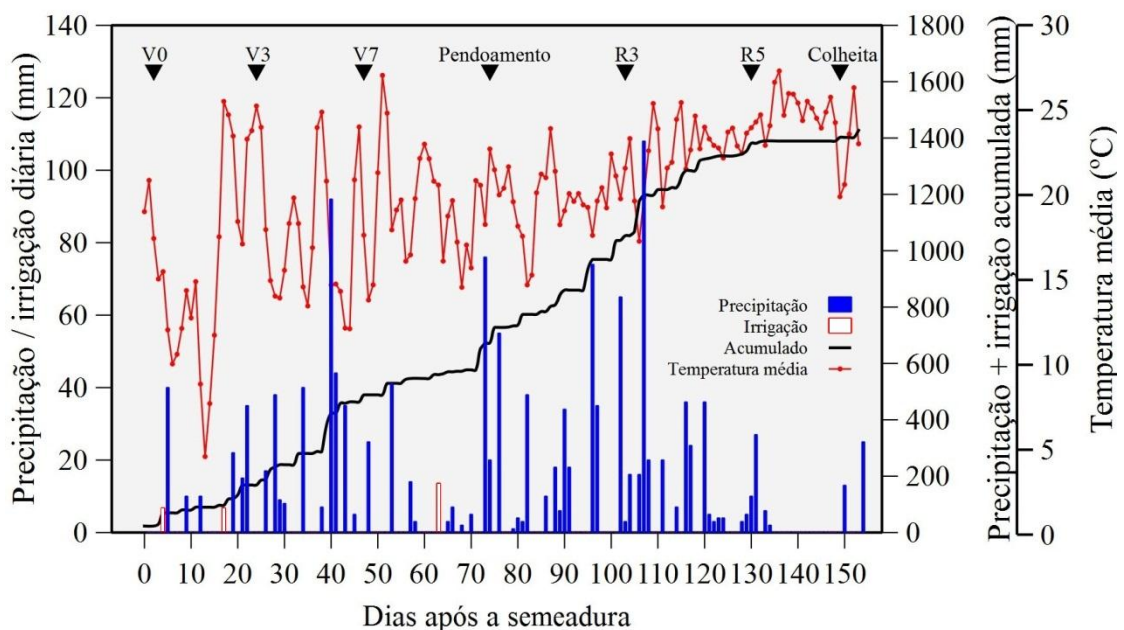
Para as equações obtidas de primeiro grau levou-se em consideração a população de plantas maior ou menor (utilizada no experimento) que mais produziu, assim como a produtividade do respectivo ponto na linear.

Os parâmetros avaliados foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente à análise de variância (ANOVA) ($p \leq 0,05$). Verificada a significância pelo teste F, as médias dos fatores qualitativos (ZP e H) foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), enquanto que o fator quantitativo (PP) foi comparado por meio de análise de regressão ($p < 0,05$). Para análise dos dados utilizou-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As condições climáticas de precipitação, irrigação, lâmina de água acumulada e temperatura durante o desenvolvimento da cultura são apresentadas na Figura 3. A precipitação acumulada durante a condução do experimento foi de 1.410 mm, necessitando de poucas irrigações durante todo o ciclo (Figura 3).

Figura 3 – Precipitação pluviométrica, irrigação, lâmina de água acumulada e temperatura durante o desenvolvimento da cultura do milho.



Observa-se que ocorreu um ano agrícola excelente durante o desenvolvimento do experimento, com boas precipitações, sem nenhuma condição climática adversa que pudesse afetar os resultados, demonstrando desta forma, que os resultados obtidos são válidos para serem replicados e desenvolvido em bons anos agrícolas.

Para produtividade, houve interação para todos os fatores avaliados (Tabela 3), justificando dessa forma o uso de taxa variada de semeadura assim como a utilização de mais de um híbrido em um mesmo talhão, a fim de explorar o máximo do potencial produtivo de cada ambiente em questão. Lashkari et al. (2011) também observaram que, para altos rendimentos de grãos, é necessário um ajuste na população de plantas, com uma população ideal para cada sistema de produção.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as variáveis produtividade (PROD), peso de mil grãos (PMG), número de fileiras (NF), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), comprimento da espiga (CE) e diâmetro da espiga (DE)

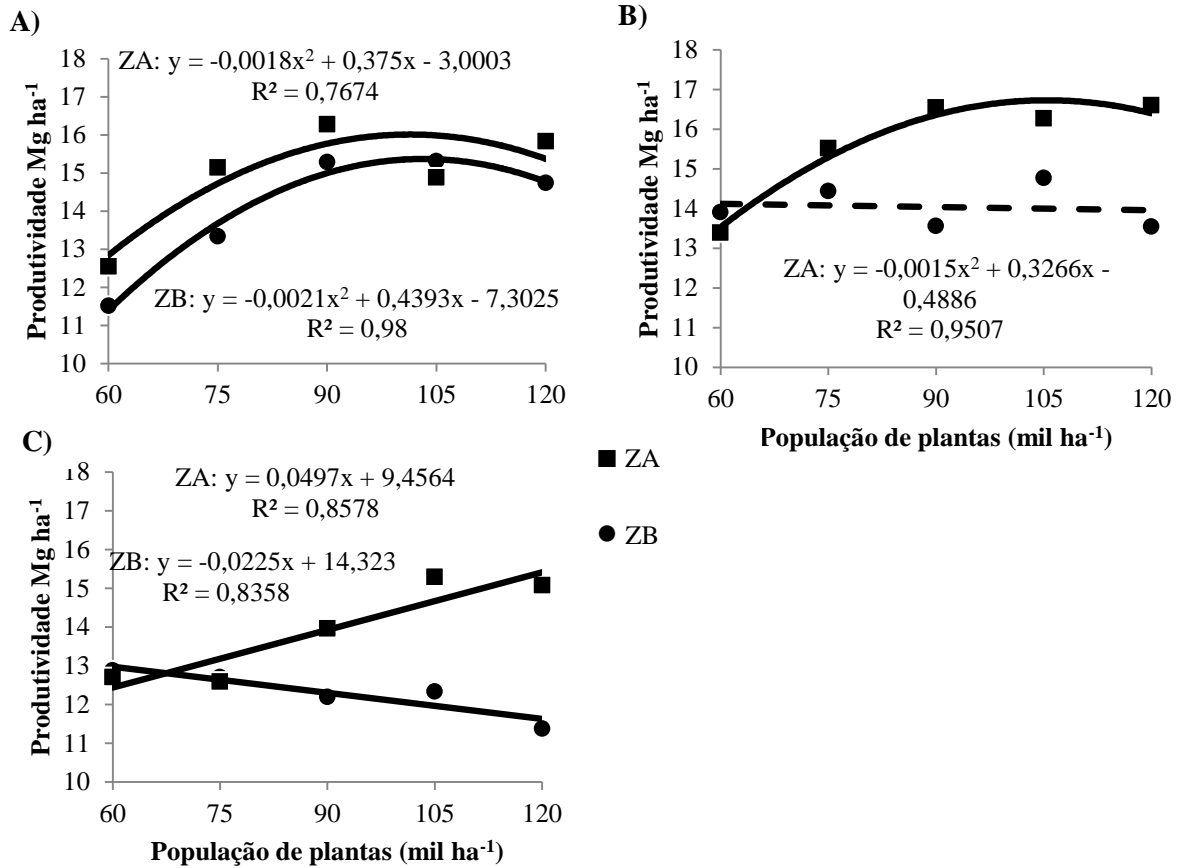
FV	PROD	PMG	NF	NGF	NGE	CE	DE
	Pr>F						
ZP	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
HIB	0,000***	0,000***	0,000***	0,015*	0,000***	0,172 ^{ns}	0,000***
PP	0,000***	0,000***	0,963 ^{ns}	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
ZPXHIB	0,049*	0,227 ^{ns}	0,002**	0,907 ^{ns}	0,042*	0,820 ^{ns}	0,003**
ZPXPP	0,002**	0,397 ^{ns}	0,789 ^{ns}	0,148 ^{ns}	0,118 ^{ns}	0,360 ^{ns}	0,183 ^{ns}
HIBXPP	0,003**	0,564 ^{ns}	0,685 ^{ns}	0,551 ^{ns}	0,274 ^{ns}	0,792 ^{ns}	0,956 ^{ns}
ZPXHIBXPP	0,009**	0,107 ^{ns}	0,610 ^{ns}	0,182 ^{ns}	0,411 ^{ns}	0,474 ^{ns}	0,668 ^{ns}
CV (%)	7,66	5,22	6,25	7,97	9,93	11,74	2,25
Média	14,15	344,91	14,04	33,92	476,47	15,63	45,11

*, **, *** - Significativo a 0,05; 0,01 e 0,001, respectivamente e ns – Não significativo pelo teste F; ZP= Zona de produtividade; HIB= Híbrido; PP= População de plantas; CV= Coeficiente de variação.

Houve diferença significativa para todas as variáveis analisadas (Tabela 3), exceto NF em relação à população de plantas e CE com alteração do híbrido. Também houve interação entre zona de produtividade e híbrido para NF, NGE e DE, além da produtividade.

As produtividades obtidas no experimento estão demonstradas na Figura 4, onde observa-se o comportamento da produtividade em relação ao aumento ou diminuição da PP. Para o híbrido Pioneer 1630, obteve-se equações de primeiro grau para os dois ambientes avaliados (ZA e ZB), já para Agroeste 1677 (ZA e ZB) e BioGene 7318 (ZA) obteve-se equações quadráticas, sendo que para BioGene 7318 na ZB não houve diferença significativa em produtividade considerando as populações de plantas avaliadas no experimento. Alvarez et al. (2006), Demétrio et al. (2008) e Brachtvogel et al. (2012) também obtiveram equações quadráticas para produtividade com o aumento da PP. No entanto Hashemi et al. (2005) verificaram que o aumento da PP diminuiu a produtividade de grãos, corroborando com o resultado obtido neste trabalho para Pioneer 1630 na ZB.

Figura 4 - Produtividade em Mg ha^{-1} dos híbridos Agroeste 1677 VTPRO3 (A), BioGene 7318 YH (B) e Pioneer 1630 H (C) para as população de plantas avaliadas em mil plantas por hectare, nas as zonas de alta (ZA) e baixa (ZB) produtividade



Na Tabela 4, observa-se que a rentabilidade líquida real obtida com o melhor ajuste de população para cada híbrido em cada ambiente foi muito semelhante com a produtividade obtida. Sendo assim as maiores produtividade, foram os resultados mais rentáveis, assim como as menores produtividades obtidas também foram as menos rentáveis.

Tabela 4 - Rentabilidade líquida real obtida com o melhor ajuste da população de plantas para cada híbrido em cada ambiente (ZP).

Equações Quadráticas			
ZP	ZA		ZB
HÍBRIDO	AS 1677	BG 7318	AS 1677
MET	104	109	105
MEE	98,6	102,5	99,8
PMEE	16,47	17,23	15,62
Rentabilidade	R\$ 4.218,46	R\$ 4.652,41	R\$ 3.722,28
Equações de Regressão Linear Simples			
ZP	ZA		ZB
HÍBRIDO	P 1630	P 1630	BG 7318
PMPC	120	60	60
PL	15,42	12,97	14,04
Rentabilidade	R\$ 3.738,00	R\$ 2.849,67	R\$ 3.306,00

MET = máxima eficiência técnica (em mil plantas ha⁻¹); MEE = máxima eficiência econômica (em mil plantas ha⁻¹); PMEE = Produtividade na população de máxima eficiência econômica (em Mg ha⁻¹); PMPC = População da maior produtividade na linear (em mil plantas ha⁻¹) para os extremos avaliados no experimento; PL = produtividade (em Mg ha⁻¹) na linear considerando a PMPC de cada híbrido;

Observa-se que a melhor opção, para os resultados obtidos neste experimento, considerando produtividade e rentabilidade, seria um sistema multi-híbridos com população de plantas a taxa variada. Desta forma, a maior rentabilidade obtida na ZA foi com o híbrido BG 7318, na população de 102,5 mil plantas ha⁻¹, e na ZB com o híbrido AS 1677, na população de 99,8 mil plantas ha⁻¹, onde obtiveram-se as rentabilidades de R\$ 4.652,41 e R\$ 3.722,28 por hectare, respectivamente (Tabela 4).

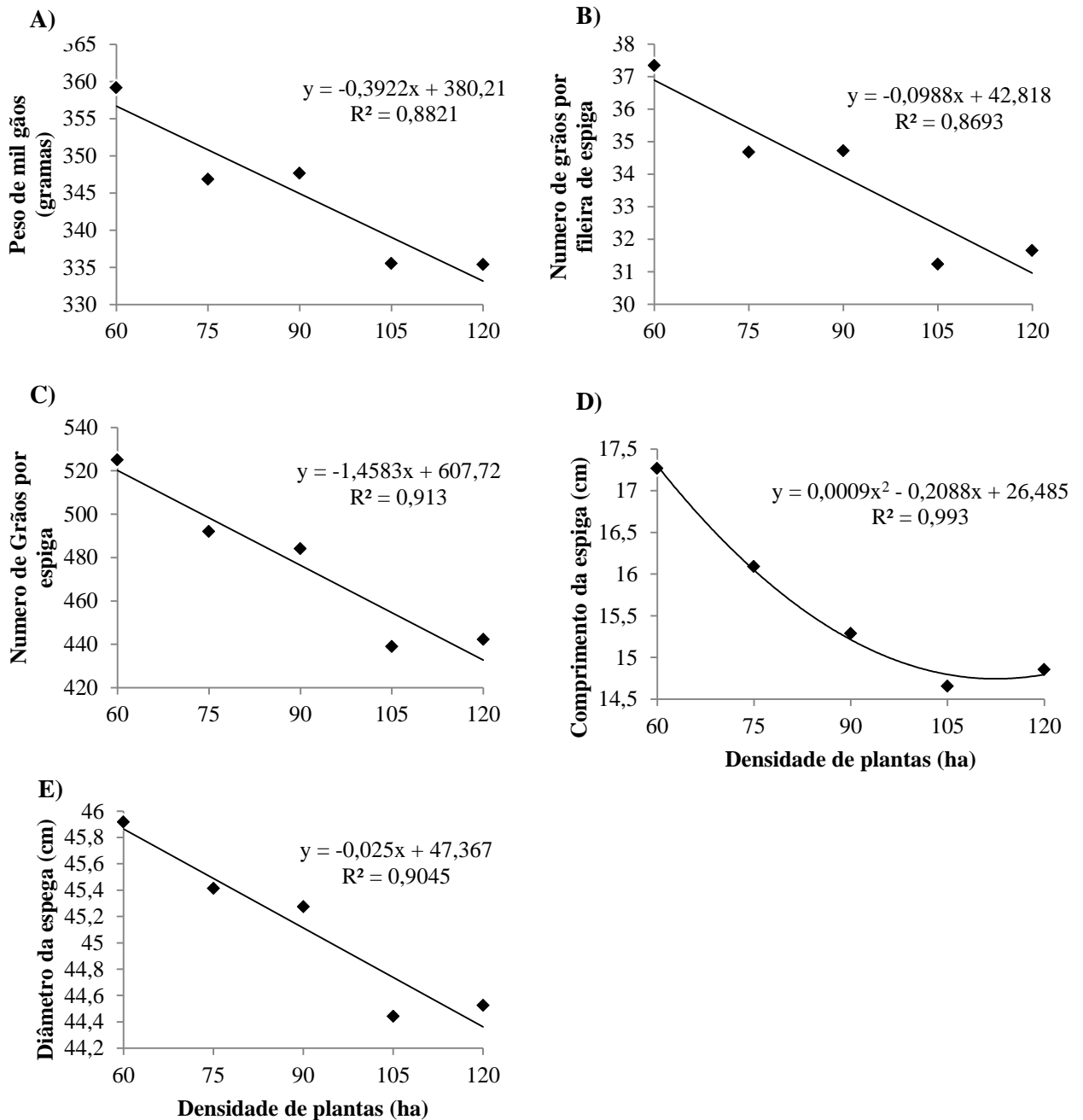
Para fins comparativos, considerando-se que um talhão possua 50 % de sua área com ambiente de baixa produtividade, e outros 50 % com ambiente de alta produtividade, nesta situação, com um sistema multi-híbridos e população de plantas a taxa variada, com os híbridos BG 7318 na ZA e AS 1677 na ZB (Pois foram estes os dois híbridos de maior rentabilidade para a ZA e ZB respectivamente), haveria uma rentabilidade média de R\$ 4.187,35 por hectare. Se neste mesmo talhão, utilizasse somente um dos híbridos para os dois ambientes, haveria uma lucratividade média de R\$ 3.979,21 e R\$ 3.970,37 por hectare para os híbridos BG 7318 e AS 1677, respectivamente. Sendo assim, há um incremento médio na rentabilidade de 5,35 % com a utilização de um sistema multi-híbridos de semeadura.

Conforme a Tabela 4, considerando a melhor PP para uma máxima rentabilidade, observa-se que o híbrido AS 1677 foi o que obteve menor diferença para os ambientes trabalhados (diferença entre ZA e ZB: 1,2 mil plantas ha⁻¹).

Entretanto, para os híbrido BG 7318 e P 1630 as diferenças entre as população ideais para cada ambiente de produtividade trabalhado foram bem maiores, sendo uma diferença de 42,5 e 60,0 mil plantas ha⁻¹ para o híbrido BG 7318 e P 1630, respectivamente. Desta forma, mesmo trabalhando-se com um único híbrido por talhão justifica-se o uso de taxa variada de sementes, necessitando, no entanto, conhecer-se de forma detalhada o híbrido que será utilizado.

Observa-se na Figura 5 que houve um decréscimo linear dos componentes de rendimento PMG, NGF, NGE, DE com o aumento da população de plantas, onde somente no CE obteve-se uma equação quadrática, havendo uma diminuição acentuada até 105 mil plantas ha⁻¹, com uma tendência de estabilizar os valores a partir dessa PP. Lashkari et al. (2011) também obtiveram diminuição do NGF, número de grãos por planta e DE com o aumento da PP.

Figura 5 - Média dos valores nas zonas de alta e baixa produtividade, dos componentes de rendimento peso de mil grãos (PMG), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), comprimento da espiga (CE) e diâmetro da espiga (DE) para as população de plantas avaliadas (em mil plantas por hectare)



Desta forma, o aumento da PP compensou significativamente a perda dos valores destes componentes de rendimento, até certo limite, para os híbridos Agroeste 1677 (ZA e ZB), Pioneer 1630 H (ZA) e BioGene 7318 (ZA). Kunz (2005), também constatou que o

aumento da PP ocasionou uma maior produtividade de grãos mesmo com uma perda nos demais componentes de rendimento.

Para o híbrido BioGene 7318 (ZB) o aumento da PP de plantas somente equalizou a perda dos valores dos componentes de rendimento, não alterando significativamente a produtividade. Já para o híbrido Pioneer 1630 H (ZB), o aumento da PP não foi capaz de suportar a diminuição dos componentes de rendimento, causando diminuição significativa da produtividade. Observando o comportamento do híbrido Pioneer 1630 H para a ZB, demonstra-se ser um híbrido mais sensível ao ambiente, manejos e fertilidade, necessitando ser alocado prioritariamente em um ambiente de maior produtividade.

Os valores de NF, NGE e DE apresentaram comportamento semelhante aos resultados obtidos de produtividade, onde para todos os híbridos os parâmetros foram superiores no ambiente de alta produtividade (Tabela 5). Trachsel et al. (2015) também obtiveram uma produtividade superior no melhor ambiente avaliado.

Tabela 5 - Valores dos componentes de produtividade: número de fileiras (NF), número de grãos por espiga (NGE) e diâmetro da espiga (DE) do experimento

Híbrido	NF		NGE		DE (mm)	
	ZA	ZB	ZA	ZB	ZA	ZB
AS 1677	13.4cA	11.8bB	491cA	380bB	47.0bA	41.1bB
BG 7318	14.6bA	12.4bB	531bA	399bB	49.1aA	42.0aB
P 1630	17.5aA	14.5aB	611aA	447aB	49.5aA	42.0aB

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($\alpha=0.05$).

Para NF e NGE o híbrido P 1630 apresentou os maiores valores, sendo que para DE os híbridos P 1630 e BG 7318 apresentaram os maiores valores, não diferindo estatisticamente. No entanto, o híbrido P 1630 foi o que obteve o menor valor médio de PMG (Tabela 6), o que de certa forma equalizou os melhores valores obtidos em NF, NGE e DE.

Tabela 6 - Valores dos componentes de produtividade de número de grãos por fileira (NGF), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE) e peso de mil grãos (PMG)

Híbrido	NGF			CE (cm)		PMG (g)		
	ZA	ZB	Média	ZA	ZB	ZA	ZB	Média
AS 1677	36,6	32,2	34.4a	16,8	14,8	381	338	359a
BG 7318	36,4	32,5	34.5a	17,1	14,7	376	347	362a
P 1630	34,9	30,9	32.9b	16,1	14,2	331	297	314b
Média	36,0A	31.9B		16.7A	14.6B	363A	327B	

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($\alpha=0.05$).

Observa-se na Tabela 6, que no ambiente de alta produtividade produziu espigas maiores (CE), com mais grãos por fileiras (NGF) e um PMG mais elevado, semelhantes também com o comportamento dos resultados obtidos na Tabela 5 quando comparado a ZA com ZB, o que, com certeza, contribuiu com a produtividade mais elevada que houve na ZA para praticamente todas as PP de todos os híbridos avaliados (Figura 2). Isso só reforça a necessidade de um conhecimento detalhado do híbrido a ser trabalhado para o posicionamento adequado no ambiente e população de plantas ótima a ser utilizada em cada situação, vindo a confirmar a hipótese inicial do trabalho.

Desta forma, um sistema multi-híbridos com população de plantas a taxa variada mostra-se como uma tendência futura para aumento da produtividade de milho na agricultura brasileira.

5 CONCLUSÕES

1. Há diferenças entre a ótima população de plantas para cada zona de produtividade, sendo que a amplitude de variação é extremamente dependente do híbrido que está sendo trabalhado, necessitando de um ajuste pontual para cada genótipo.
2. O híbrido BG 7318 foi o material que apresentou maior rentabilidade na zona de alta produtividade com uma população de 102,5 mil plantas ha⁻¹.
3. Para a zona de baixa produtividade, a maior rentabilidade foi obtida com o híbrido AS 1677 utilizando-se 99,8 mil plantas ha⁻¹.
4. Houve, neste trabalho, um incremento médio na rentabilidade de 5,35 % com a utilização de um sistema multi-híbridos de semeadura com população de plantas a taxa variada.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, C. G. D.; PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragens e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 402-408, 2006.
- AMADO, T. J. C. et. al. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n. 89, p. 34-42, 2005.
- ASSEFA, Y. et al. Yield Responses to Planting Density for US Modern Corn Hybrids: A Synthesis-Analysis. **Crop science**, v. 56, p. 2802-2817, 2016.
- BLACKMORE, S.; MOORE, M. Remedial correction of yield map data. **Precision Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 51-66, 1999.
- BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 26, p. 37 – 51, 2000.
- BRACHTVOGEL, E. L. et. al. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Trópica**, v. 6, n. 1, p.75, 2012.
- CALISKAN, S. et. al. The effects of row spacing on yield and yield components of full season and double-cropped soybean. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 31, n. 3, p. 147-154, 2007.
- CIAMPITTI, I.A. et. al. Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and N-stress factors: II. Reproductive phase. **Crop Sci**, v. 53, p. 2588-2602, 2013.
- CIAMPITTI, I.A.; VYN, T.J. Physiological perspective of changes over time in maize grain yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. **Field Crops Res**, v. 133, p. 48-67, 2012.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Planilhas de série histórica de milho – cultura de 1º safra**, 2019.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária**. V.6, p. 1-112, agosto, 2018.
- CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p. 1013-1021, 2004.
- CORASSA, G.M. **Manejo por ambiente: Atributos de solo e desempenho de cultivares de soja**. 2015. 123p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.
- DEMÉTRIO, C.S. et. al. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n.12, p. 1691-1697, 2008.

FARID, H. U. et al. Delineating site-specific management zones for precision agriculture. **Journal of Agricultural Science**, v. 154, p. 273–286, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

FULTON, J. P. et. al. A case study for variable-rate seeding of corn and cotton in the Tennessee valley of Alabama. In: **10th International Conference on Precision Agriculture**, 2010.

HASHEMI, A.M.; HERBERT, S.J.; PUTNAM, D.H. Yield response of corn to crowding stress. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 839-846, 2005.

HÖRBE, T. A. N. et. al. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 450-465, 2013.

KITCHEN, N. R. et al. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, p. 285–308, 2005.

KUNZ, R. P. **Influência do arranjo de plantas e da população em características agrônomicas e produtividade do milho**. 2005. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

LASHKARI, M. et. al. Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. **Eurasian J. Agric. Environmental Science**, v. 10, p. 450-457, 2011.

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

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

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

MORAL, F. J.; TERRON, J. M.; REBOLLO, F. J. Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, p. 223–230, 2011.

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

QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Disponível em: <<http://www.qgis.org/>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. **Geoprocessamento**. In: SILVA, F.M. Mecanização e agricultura de precisão. Poços de Caldas: UFV, Cap.1, p.1-30, 1998.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. **Special Bulletin**, n. 48, 1993.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v. 31, p. 159-168, 2001.

SANGOI, L. et. al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v. 79, p. 39-51, 2002.

SANTI, A. L. et. al. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Agrária**, v. 8, n. 3, p. 510-515, 2013.

SANTOS, H. G. et. al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SILVA, F. M. et. al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p.401-407, 2007

SILVA, P. R. F. et. al. Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.9, n.1, p. 48-57, 2010.

STANGER, T. F.; LAUER, J. G. Optimum plant density of Bt and non-Bt corn in Wisconsin. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 4, p. 914-921. 2006.

TRACHSEL, S. F. M. et. al. Effects of planting density and nitrogen fertilization level on grain yield and harvest index in seven modern tropical maize hybrids (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural Science**, p. 1-16, 2015.