



UNIVERSIDADE DE CRUZ ALTA-UNICRUZ

Cassia Daiane Pesamosca

**INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO VIA PIVÔ CENTRAL
NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO**

Dissertação de Mestrado

CRUZ ALTA- RS, 2023

Cassia Daiane Pesamosca

**INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO VIA PIVÔ CENTRAL NA
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural da Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Rural.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Pivotto Bortolotto

Cruz Alta – RS, 2023

P472i Pesamosca, Cassia Daiane

Influência da irrigação por aspersão via pivô central na produtividade de grãos de milho / Cassia Daiane Pesamosca. – 2023.

27 f. : PDF.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Cruz Alta / Unicruz, Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, Cruz Alta, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Pivotto Bortolotto.

1. Cultura agrícola. 2. Cultivo do milho – valor nutritivo. 3. Cultivo do milho – potencial produtivo. I. Bortolotto, Rafael Pivotto. II. Título.

CDU 633.15

Catálogo Bibliotecária Eliane Catarina Reck da Rosa CRB-10/2404

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me abençoado todos os dias, por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente.

Aos meus pais, Ivo e Neli Pesamosca a minha irmã Glaucia Taciane Pesamosca pelo apoio incondicional, incentivo, paciência e ajuda na superação dos obstáculos que surgiram ao longo desta caminhada.

Aos meu tio e Avô do coração Luiz Jeronymo Manfio que me acompanha desde os primeiros passos e um grande incentivador e apoiador na realização desse trabalho.

Aos meus amigos em especial Jonas Nescke e sua esposa Tatiana Moraes Nescke que me ajudaram no estabelecimento do trabalho a campo com todo o esforço empenho e dedicação para a realização do trabalho prático.

Aos meu primo e amigo Lizandro Santi Manfio pelo seu esforço, compreensão, contribuição e paciência na colaboração com a construção do trabalho a campo sua experiencia foi de grande importância.

Ao meu orientador Dr. Rafael Pivotto Bortolotto que acreditou no meu potencial e se dispôs a me ensinar e orientar, repartindo seus conhecimentos.

Ao colega Eduardo Engel pelo suporte e toda a orientação durante o projeto.

A todos os docentes e funcionários do programa de Pós-graduação do Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural da Universidade Cruz Alta - Unicruz que, de alguma forma, colaboraram para que esta pesquisa fosse realizada.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões pertinentes para a finalização da dissertação.

À Universidade de Cruz Alta - Unicruz, pela oportunidade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

Universidade de Cruz Alta - UNICRUZ

Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão.

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu - Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural

**INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO VIA PIVÔ CENTRAL
NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO**

Elaborado por:

Cassia Daiane Pesamosca

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rafael Pivotto Bortolotto
Universidade de Cruz Alta – Unicruz

Prof. Dr. Theodoro Schneider
Universidade de Cruz Alta – Unicruz

Dr. Tiago de Andrade Neves Hörbe
Cooperativa Central Gaúcha LTDA – CCGL

Cruz alta- RS, 13 de setembro de 2023

RESUMO

INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO VIA PIVÔ CENTRAL NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO

Autor: Cassia Daiane Pesamosca
Orientador: Rafael Pivotto Bortolotto

O milho é uma cultura de grande importância no mercado agrícola brasileiro. O cultivo do milho apresenta alto potencial produtivo, que depende das tecnologias implementadas, condições hídricas e condições de fertilidade do solo. A irrigação em culturas que são sensíveis ao déficit hídrico eleva as possibilidades de altas produtividades. O objetivo deste trabalho foi analisar os impactos da irrigação por aspersão via pivô central na produtividade da cultura de milho em diferentes densidades populacionais. Analisou-se os dados coletados na safra de 2021/2022 em um trabalho de pesquisa a campo onde a cultura foi estabelecida em ambiente sequeiro e irrigado. A precipitação total de todo o ciclo foi de 750 milímetros, sendo 196 mm de precipitação pluviométrica em toda a área (irrigado e sequeiro) e 554 mm suplementação hídrica em sistema irrigado. Pode-se verificar que o manejo com irrigação e as diferentes populações influenciam nos componentes de rendimento do milho, sendo que plantas irrigadas apresentam maior estatura de plantas, maior número de grãos por espiga e maior peso de grãos. Maiores rendimentos foram encontradas nas populações de 66 e 80 mil plantas por hectare.

Palavras chaves: Disponibilidade hídrica. *Zea mays*. População de plantas.

ABSTRACT

IMPACT OF CENTRAL PIVOT SPRINKLER IRRIGATION ON MAIZE YIELD IN DIFFERENT POPULATION DENSITIES

Author: Cassia Daiane Pesamosca
Advisor: Rafael Pivotto Bortolotto

Corn is a crop of great importance in the Brazilian agricultural market. Corn cultivation has a high productive potential, which depends on the implemented technologies, water conditions and soil fertility conditions. Irrigation in crops that are sensitive to water deficit increases the possibilities of high productivity. The objective of this work was to analyze the impacts of sprinkler irrigation via center pivot on corn productivity at different population densities. The data collected in the 2021/2022 harvest was analyzed in a field research work where the crop was established in dry and irrigated environment. Accumulated precipitation from the day of sowing (08/13/2021) to harvest (02/01/2022) was 348.0 millimeters, total water supplementation was 345.0 millimeters during the cycle, in the irrigated environment. It can be verified that the management with irrigation and the different populations influence the components of corn yield, and irrigated plants present greater plant height, greater number of grains per ear and greater grain weight. Higher yields were found in populations of 66 and 80 thousand plants per hectare.

Keywords: Water availability. *Zea mays*. Plant population.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Precipitação e Irrigação durante o todo o ciclo da cultura, desde a semeadura até a colheita.

Figura 1. Estatura de plantas de milho em V4 (a), V8 (b) e final de ciclo (c) entre populações e condição hídrica. **Condições hídricas diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey. Letras diferentes, diferem significativamente entre populações dentro da mesma condição hídrica ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey.

Figura 2. Diâmetro médio basal do colmo (a), altura da inserção da última folha (b) e altura da inserção da espiga (c) entre populações de plantas e condição hídrica. **Condições hídricas diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey. Letras diferentes, diferem significativamente entre populações dentro da mesma condição hídrica ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey.

Figura 3. Número de espigas.metro⁻¹ (a), comprimento de espiga (b), diâmetro de espiga (c) e número de fileiras.espiga⁻¹ entre populações de plantas e condição hídrica. **Condições hídricas diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey. Letras diferentes, diferem significativamente entre populações dentro da mesma condição hídrica ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey.

Figura 4. Número de grãos.espiga⁻¹ (a), grãos.planta⁻¹ (b), peso de mil grãos (c) e produtividade (d) entre populações de plantas e condição hídrica. **Condições hídricas diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey. Letras diferentes, diferem significativamente entre populações dentro da mesma condição hídrica ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey.

Figura 5. Análise de componentes principais particionando a variância observada dos parâmetros avaliados em função da disponibilidade hídrica (irrigado x sequeiro). Legenda: Ap_final (altura final de plantas), Ap_V4 (altura de plantas em V4), Ap_V8 (altura de plantas em V8), AIE (altura de inserção da espiga), AIF (altura da inserção da última folha), comprimento de espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), número de fileiras de grãos por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), produtividade final (P), produção de grãos por planta (PGP), número de espigas por metro linear (NEML), peso de mil grãos (PMG) e produção de grãos por espiga (PGE).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Justificativa	9
1.2. Hipótese	9
1.3. Objetivo	9
IMPACTO DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO VIA PIVÔ CENTRAL NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS	
1. Introdução	11
2. Material e métodos	13
3. Resultados	15
4. Discussões	21
REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores agrícolas do mundo, e a cultura do milho desempenha um papel fundamental nesse cenário. Com uma extensa área plantada e uma produção expressiva, o milho é uma cultura estratégica para a economia do país. A cultura do milho possui um papel de destaque na economia brasileira.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, e a produção e comercialização desse grão geram empregos diretos e indiretos, além de movimentar diversos setores, como o agrícola, o alimentício e o energético. O milho é uma cultura versátil, utilizada tanto na alimentação humana quanto na produção de ração animal. Além disso, é matéria-prima para a indústria de biocombustíveis. A produção sustentável e eficiente de milho é essencial para garantir a segurança alimentar da população e abastecer a agroindústria

Neste cenário, o Brasil é um importante exportador de milho, ajudando a suprir a demanda internacional por esse grão. A qualidade e a quantidade da produção nacional têm contribuído para o fortalecimento das relações comerciais com outros países, gerando divisas e impulsionando a balança comercial brasileira.

A produtividade de milho é variável e dependente de fatores genéticos, ambientais e manejo. Dessa forma o potencial produtivo de milho pode ser mais bem explorado pela adoção e implementação criteriosa de aspectos técnicos como: escolha de genótipos melhor adaptados as condições de cultivo, época de semeadura preferencial para a região, espaçamento e densidade populacional de semeadura, aplicação de fertilizantes, manejo adequado do solo, controle eficiente de pragas, doenças e plantas daninhas. No entanto, mesmo sendo observado todos estes aspectos técnicos, a disponibilidade hídrica segue sendo o principal pilar limitante da produtividade deste e de outras culturas.

A irrigação desempenha um papel fundamental na maximização do potencial produtivo do milho. Ao fornecer água de forma controlada e adequada, a irrigação permite que a cultura alcance seu pleno desenvolvimento, reduzindo os riscos de perdas por estresse hídrico e garantindo uma produção mais estável e previsível. A disponibilidade adequada de água durante o ciclo de desenvolvimento da cultura favorece a formação e o enchimento dos grãos, resultando em uma melhor aparência, maior peso e valor comercial. Neste contexto, a irrigação na cultura do milho também impulsiona o desenvolvimento rural, pois possibilita a diversificação de atividades e a geração de renda para os agricultores.

A disponibilidade hídrica para as plantas pode ser dependente da população de plantas que foi semeada. Neste contexto, o ajuste da densidade de semeadura para um determinado genótipo (híbrido) de milho pode diferir em contextos de disponibilidade hídrica via irrigação ou em uma condição de sequeiro. A densidade de semeadura impacta parâmetros morfológicos da cultura do milho, tais como: Estatura de plantas, tamanho de espiga e peso de grãos. Desta forma, o entendimento dos efeitos da disponibilidade hídrica sobre a densidade de semeadura é de extrema importância para explorar o máximo potencial produtivo do híbrido semeado.

1.1. Justificativa

A disponibilidade hídrica e a densidade de semeadura são fatores cruciais para explorar o máximo potencial produtivo da cultura do milho e influenciam aspectos relacionados a otimização do rendimento de grãos em diferentes condições (alta e baixa densidade x disponibilidade de água), uso eficiente dos recursos por parte das plantas, resiliência e estabilidade produtiva. Desta forma, o grau de informação gerado pelo presente estudo poderá direcionar a região do Alto Jacuí para um melhor posicionamento da densidade de semeadura frente a disponibilidade hídrica do sistema produtivo. Neste cenário, o melhor ajuste tende a proporcionar uma melhor forma de explorar o máximo potencial produtivo da cultura do milho, de forma sustentável.

1.2. Hipótese

Híbridos de milho, de alto potencial produtivo, na ausência de stress hídrico, sob fertilização e manejo fitossanitário adequados, é capaz de aumentar a produtividade em populações superiores a 90 mil plantas por hectare. A disponibilidade hídrica influencia a estabilidade produtiva de um híbrido sob diferentes densidades de semeadura.

1.3. Objetivo

Avaliar o efeito da densidade de semeadura sobre parâmetros fitotécnicos da cultura do milho em condições de disponibilidade hídrica (irrigado) e sequeiro.

IMPACTO DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO VIA PIVÔ CENTRAL NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS

IMPACT OF CENTRAL PIVOT SPRINKLER IRRIGATION ON MAIZE YIELD IN DIFFERENT POPULATION DENSITIES

Cassia Daiane Pesamosca¹

Rafael Pivotto Bortolotto²

Resumo: O milho possui grande importância mundial devido a produtividade de grãos e valor nutricional sendo utilizado na alimentação humana e animal, bem como na indústria de alta tecnologia. A busca por maiores produtividades é crescente e um dos fatores limitantes para a produção é a disponibilidade hídrica. Portanto objetivou-se neste trabalho analisar os impactos da irrigação por aspersão via pivô central na produtividade da cultura de milho em diferentes densidades populacionais. Analisou-se os dados coletados na safra de 2021/2022 em um trabalho de pesquisa a campo onde a cultura foi estabelecida em ambiente sequeiro e irrigado. A precipitação acumulada do dia da semeadura (13/08/2021) até a colheita (01/02/2022) foi de 180 milímetros, a suplementação hídrica total foi de 570 milímetros durante o ciclo, no ambiente irrigado. Os dados foram submetidos à modelos lineares e quadráticos para investigar o efeito da população de plantas.ha⁻¹, disponibilidade hídrica e sua interação (variáveis independentes), sobre diferentes aspectos fitotécnicos quantitativos: comprimento da espiga, diâmetro da espiga⁻¹, número de fileiras de grãos por espiga⁻¹, número de grãos por fileira⁻¹, número de espiga por metro linear, produtividade (Kg.ha⁻¹), produção de grãos por planta⁻¹ e peso de mil grãos¹, todas consideradas como variáveis dependentes.

Palavras-chave: Componentes de rendimento. *Zea mays*. Suplementação hídrica.

Abstract: Corn has great global importance due to grain yield and nutritional value being used in human and animal food, as well as in the high technology industry. The search for higher productivity is increasing and one of the limiting factors for production is water availability. Therefore, the objective of this work was to analyze the impact of sprinkler irrigation via central pivot on the productivity of maize at different population densities. The data collected in the 2021/2022 crop was analyzed in a field research work where the culture was established in a

rainfed and irrigated environment. The accumulated precipitation from the day of sowing (08/13/2021) to harvest (02/01/2022) was 180 millimeters, the total water supplementation was 570 millimeters during the cycle, in the irrigated environment. The data were submitted to linear and quadratic models to investigate the effect of the plant population.ha-1, water availability and its interaction (independent variables), on different quantitative phytotechnical aspects: ear length, ear diameter-1, number of rows of grains per ear-1, number of grains per row-1, number of ears per linear meter -1, productivity (Kg.ha-1), grain yield per plant -1 and weight of a thousand grains¹, all considered as dependent variables.

Keywords: Income components. *Zea mays*. Water supplementation.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o milho (*Zea mays* L.) se tornou a cultura agrícola mais cultivada no mundo em função do seu potencial produtivo e valor nutritivo. Sua importância se destaca pela diversidade de usos, adaptabilidade em diversos sistemas de produção e relevância na segurança alimentar humana e animal (MIRANDA, 2018). Na agricultura brasileira, a cultura do milho é de extrema importância, sendo cultivado de Norte a Sul. Na última década esta cultura vem ganhando aumento gradativo de produção, no último ano agrícola (2022/2023), a cultura do milho teve um aumento de 3,6% de área cultivada. Entretanto, a produtividade teve um aumento de 9,3%, gerando um cenário de eficiência produtiva que culminou em um aumento de 11,1% na produção total (CONAB 2022).

A eficiência produtiva da cultura do milho passa pela escolha do genótipo de melhor adaptação ao ambiente de plantio, ou seja, o genótipo escolhido deve expressar suas características morfológicas e fisiológicas no ambiente escolhido para a maximização da produtividade de grãos (GRAFFITTI, 2020). De acordo com Silva *et al.* (2021), o potencial produtivo da cultura do milho pode ser explorado pelo implemento criterioso de aspectos técnicos, como a escolha do híbrido, espaçamento, população e manejo adequados. Atualmente, o grande desafio está em alcançar maior produtividade, diminuindo os custos de produção por meio da incorporação de novas tecnologias no manejo. Dentre as principais tecnologias com este viés está o uso da irrigação (PEGORARE *et al.*, 2009).

Atualmente, o Brasil possui 7,3 milhões de hectares irrigados (ANA, 2019) com perspectiva de 11,5 milhões em 2024 (FAO, 2017). Neste contexto, o uso eficiente da água na agricultura é indispensável para a garantia do recurso hídrico para os demais setores, ao mesmo

tempo em que aporta água para a produção de milho (AMADO *et al.* 2009). A cultura do milho é mais sensível ao déficit hídrico durante o pendoamento (VT) podendo limitar a obtenção de elevadas produtividades (PIAS *et al.*, 2017; VIAN *et al.*, 2016). Segundo BERGAMASCHI *et al.* (2006) ocorrência de déficit entre o pendoamento (VT) e o enchimento de grãos (R2) impacta diretamente na produtividade de grãos, com danos irreversíveis.

O milho é uma cultura muito estudada e melhorada em todo o mundo, alcançando produtividades próximas ao seu potencial máximo. Assim, uma das formas de aumentar a produção é elevar o número de plantas por área, ou alterar o arranjo dos indivíduos no campo, além do uso de técnicas com a irrigação da lavoura (CALONEGO *et al.*, 2011). Sabe-se que a disponibilidade hídrica para as plantas pode mediar a competição destas por água, influenciando diretamente no seu desenvolvimento e produtividade em cenários maior ou menor densidade populacional (CRUZ; SORGO; ALBUQUERQUE, 2021).

O aumento significativo da produção das culturas vai depender da população utilizada, que pode variar de acordo com a capacidade de suporte do meio, sistema produtivo empregado, índice de duração da área foliar, época da semeadura e da correta distribuição espacial de plantas na área, que deverá ficar em harmonia com as características dos genótipos (DOURADO NETO, 1999). Aumentar a densidade de semeadura buscando maior produção, pode aumentar a competição intraespecífica por nutrientes, radiação solar e água (CRUZ; SORGO; ALBUQUERQUE, 2021). Todavia populações menores podem sofrer menos em uma condição de escassez hídrica, comparado a populações maiores, contudo podendo não suprir a produção necessária.

Um dos maiores problemas debatidos na atualidade são os efeitos das mudanças climáticas, que causam desequilíbrio e condições meteorológicas adversas, como alteração do padrão de temperatura, umidade do ar e precipitação, afetando significativamente a disponibilidade hídrica local (STRECK; ALBERTO, 2006). O déficit hídrico provoca a diminuição do período de crescimento e desenvolvimento das plantas, culminando com a redução na produtividade e possível aumento na competição intraespecífica (REIS, 2019). Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto da densidade populacional de plantas por hectare sobre produtividade da cultura do milho em condições de disponibilidade hídrica, através da irrigação via pivô central, e em condição de sequeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em propriedade rural localizado no interior do município de Cruz Alta -RS. A região tem perfil de solo predominante argiloarenoso (70% argila 20% areia), altitude de 452 metros (IBGE, 2022). De acordo com Koppen e Geier (PEEL *et al.*, 2007), o clima da região é do tipo Cfa. O milho foi semeado em 13 de agosto de 2021, em sistema de plantio direto, em sucessão à aveia-preta (*Avena strigosa*) e Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). A dessecação pré-semeadura contou com aplicação de glifosato (960 g.ha⁻¹ de i.a.) + cletodim (120 g.ha⁻¹ de i.a.).

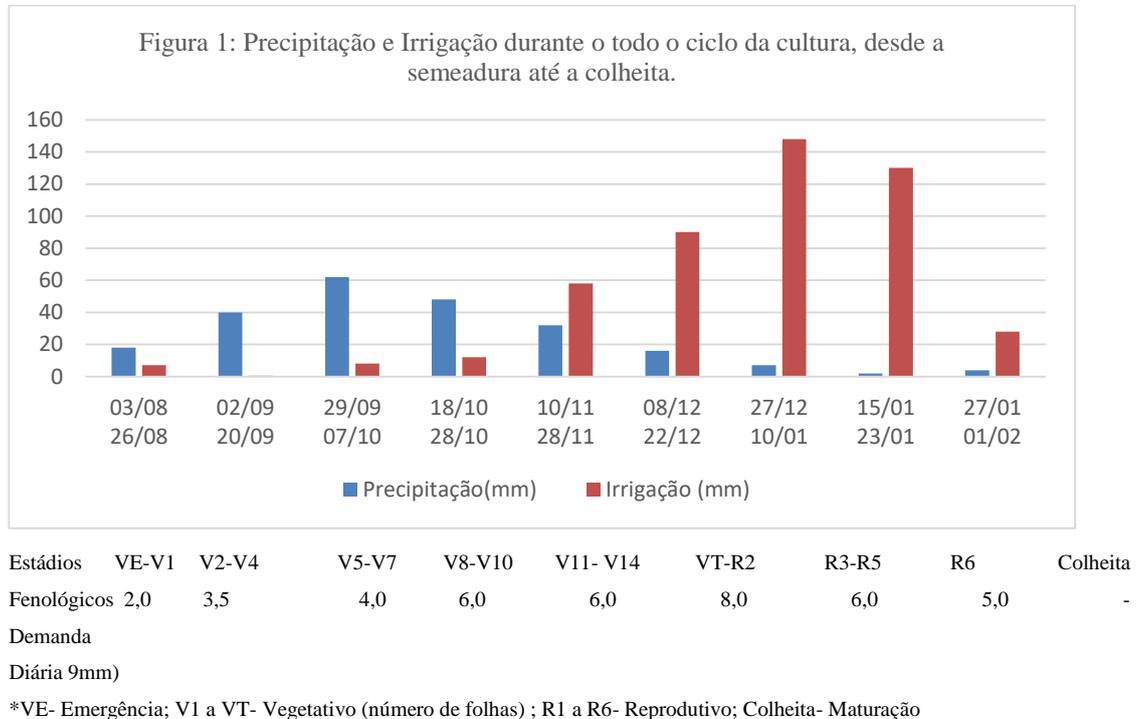
O híbrido semeado foi o Brevant 2418 VYHR, de ciclo superprecoce. Utilizou-se espaçamento entre linhas de 45 cm, profundidade de semeadura de 4 cm. A adubação de base foi constituída de 260 kg.ha⁻¹ da formulação 10-30-20 (N-P₂O₅-K₂O), conforme as Recomendações de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004). Utilizou-se uma área total de 1.575 m² (31,5 m x 50 m). Cerca de 42 dias após a semeadura (estádio V4), realizou-se a adubação de cobertura na dosagem de 250 kg.ha⁻¹ da formulação 45-00-00 (N-P₂O₅-K₂O) para todos os tratamentos. As plantas foram mantidas em condições ideais de sanidade, fazendo-se o controle de insetos-praga, doenças e de plantas daninhas de acordo com as recomendações técnicas para cultura (EICHOLZ *et al.*, 2020).

O experimento foi implantado em dois ambientes de produção: sequeiro e irrigado (via pivô central). Em cada ambiente, a cultura do milho foi semeada em seis populações distintas. Desta forma, o experimento foi considerado como um bifatorial 2 (fator 1: irrigado, fator 2: sequeiro) x 6 (tratamentos: 66.666, 80.000, 101.000, 125.000, 140.000 e 157.777 plantas.ha⁻¹). Cada tratamento foi composto por quatro repetições. O experimento foi conduzido na forma de um delineamento de blocos casualizados.

Durante o estágio fenológico vegetativo da cultura, foi realizado as seguintes avaliações Estatura de plantas em V4 primeira aplicação de nitrogênio e V8 segunda aplicação de nitrogênio, Diâmetro Basal do Colmo em V6 quando o ponto de Crescimento já se encontra acima do nível do solo, Inserção da ultima folha, quando a cultura já esta na transição de vegetativo para reprodutivo.

Quando a cultura atingiu o ponto de colheita com umidade de grãos a 13%, foram coletadas espigas em 1m linear por repetição. Então, foram realizadas as seguintes avaliações: 1) número de espigas por metro linear; 2) comprimento de espiga (cm); 3) diâmetro de espiga

(mm); 4) número de fileiras de grãos por espiga; 5) número de grãos por fileira; 6) grãos por espiga; 8) peso de mil grãos; e 9) rendimento de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).



Fonte: Dados elaborados pelo autor

Durante o ciclo produtivo a cultura do milho recebeu uma lâmina de água total (Precipitação +Irrigação) correspondente a 750,0 mm, destes, 180,0 mm de precipitação (P) e 570,0 mm via irrigação (I). Segundo Pereira *et al.* (2012), as necessidades hídricas encontram-se na faixa de 500 a 800 mm, sendo que este volume deve ser bem distribuído em todo o ciclo. O consumo médio diário da cultura encontra-se entre 2,5 mm até atingir 30 cm de altura, posteriormente varia de 5 a 7,5 mm no período compreendido do espigamento até a maturação fisiológica (MONTEIRO; CRISTIANE MARILIZ STÖCKER, 2020). O sistema de irrigação subsuperficial possuía espaçamento entre emissores de 0,5m e 0,9m entre linhas. A lâmina média nominal utilizada foi fixada em 5,13 mm/dia, considerando um aproveitamento de 98%, sendo que o sistema funcionava durante a noite.

Os dados coletados foram submetidos aos modelos lineares, sendo avaliados os pressupostos estatísticos da normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Após atendido os pressupostos, os modelos foram submetidos a análise de variância two-way (Anova). Nesta, os parâmetros obtidos foram alocados como variáveis resposta em função da condição (irrigado e sequeiro) e

da população de plantas finais. Quando a Anova foi significativa, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey. Por fim, uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada para avaliar o padrão de resposta dos parâmetros avaliados em função da condição avaliada (irrigado x sequeiro), considerando todas as populações.

3. RESULTADOS

A estatura de plantas durante a fase de desenvolvimento V4 foi influenciada pela interação entre os fatores população de plantas e condição hídrica ($F_c = 20,03$; $gl = 5$ e 36 ; $p < 0,01$). Nesta fase, em todas as populações avaliadas, verificou-se maior estatura em plantas cultivadas na condição irrigada (Figura 1a). Entre as populações dentro de cada condição hídrica, nesta fase, nota-se uma menor variação para condição de sequeiro (Figura 1a). Durante a fase de desenvolvimento V8, novamente foi observado um efeito significativo da interação entre estes fatores ($F_c = 6,29$; $gl = 5$ e 36 ; $p < 0,001$). Neste momento, diferenças significativas foram observadas para as populações de 80 a 140 mil plantas.ha⁻¹, estas foram todas superiores para condição de cultivo irrigado (Figura 1b). Entre as populações de plantas em cada condição, verifica-se maior similaridade na estatura de plantas para condição de cultivo irrigado (Figura 1b). A altura final de plantas (fase reprodutiva da cultura), não foi influenciada pelos fatores condição hídrica ($F_c = 0,44$; $gl = 1$ e 36 ; $p = 0,51$) e população de plantas ($F_c = 0,68$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,63$) isolados ou em conjunto ($F_c = 0,37$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,86$).

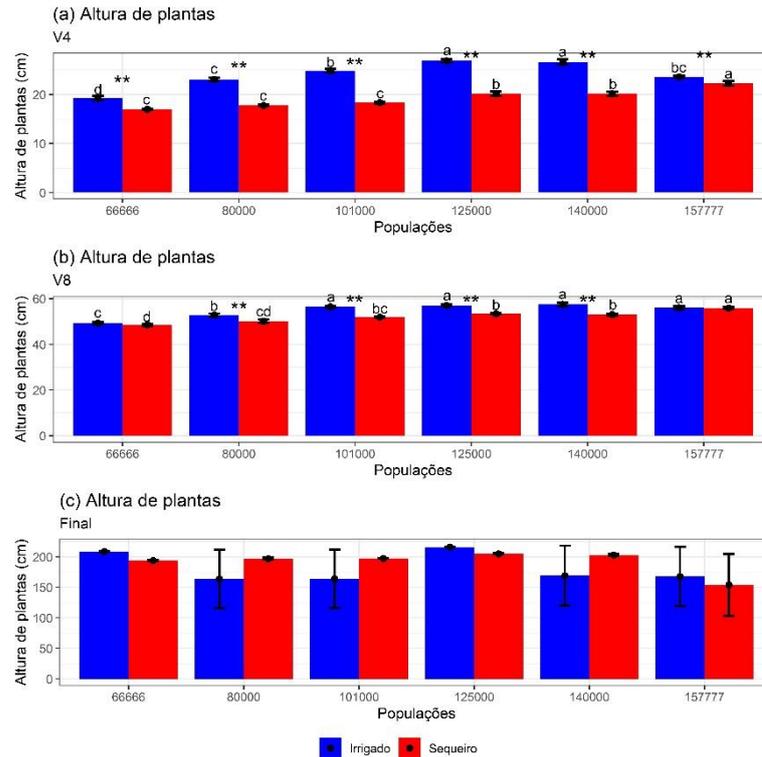


Figura 1. Estatura de plantas de milho em V4 (a), V8 (b) e final de ciclo (c) entre populações e condição hídrica. **Condições hídricas diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey. Letras diferentes, diferem significativamente entre populações dentro da mesma condição hídrica ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey.

O diâmetro médio basal do colmo foi significativamente influenciado pela interação da população de plantas e a condição hídrica ($F_c = 9,16$; $gl = 5$ e 36 ; $p < 0,001$). Em todas as populações avaliadas, foi observado maior diâmetro na condição de cultivo irrigado (Figura 2a). Entre as populações, há maior variação entre as populações de plantas para condição de cultivo irrigado em relação a condição de sequeiro (Figura 2a). A altura da inserção da última folha (Figura 2b) não apresentou efeitos isolados da condição hídrica ($F_c = 1,43$; $gl = 1$ e 36 ; $p = 0,23$) e população de plantas ($F_c = 0,85$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,52$), nem pela interação destes fatores ($F_c = 0,63$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,67$). Um mesmo padrão foi observado para o parâmetro altura da inserção da espiga (Figura 2c), sem efeitos isolados da condição hídrica ($F_c = 0,03$; $gl = 1$ e 36 ; $p = 0,84$) e população de plantas ($F_c = 0,72$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,60$), nem destes em conjunto ($F_c = 0,85$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,51$).

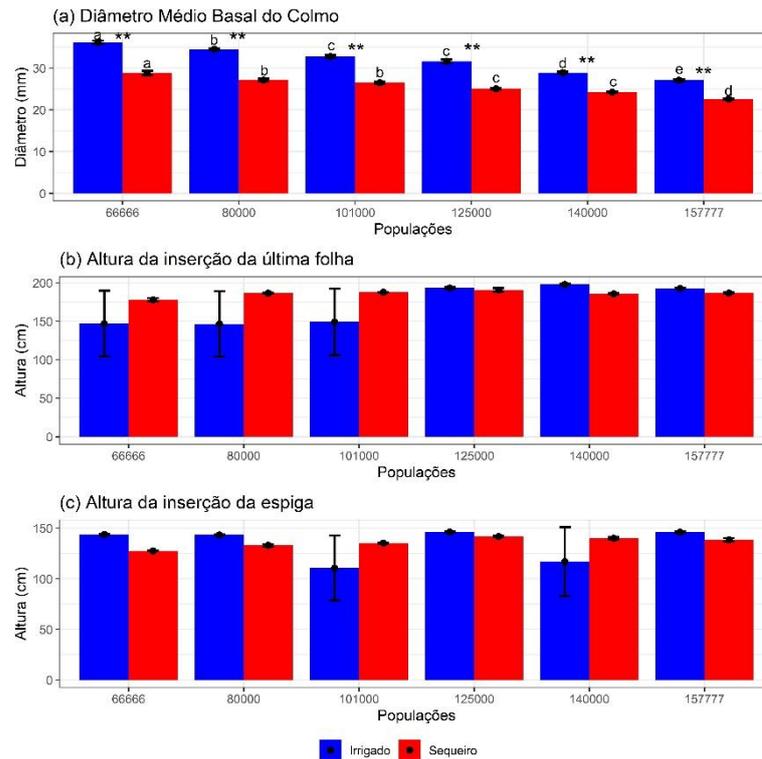


Figura 2. Diâmetro médio basal do colmo (a), altura da inserção da última folha (b) e altura da inserção da espiga (c) entre populações de plantas e condição hídrica. **Condições hídricas diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey. Letras diferentes, diferem significativamente entre populações dentro da mesma condição hídrica ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey.

O número de espigas por metro linear foi significativamente influenciado pela interação da condição hídrica e a população de plantas ($F_c = 6,87$; $gl = 5$ e 36 ; $p < 0,001$). Este foi superior em todas as populações avaliadas para a condição de cultivo irrigado (Figura 3a). Entre as populações de plantas, somente houve variação significativa para condição de cultivo em sequeiro, indicando maior equilíbrio na condição de cultivo irrigado para este parâmetro (Figura 3a). O comprimento de espigas também foi influenciado pela interação entre os fatores avaliados ($F_c = 8,98$; $gl = 5$ e 36 ; $p < 0,001$). Para tal, maior comprimento de espiga foi observado na condição de cultivo em sequeiro para população de 66 mil plantas. ha^{-1} (Figura 3b). Já para as populações de 125 e 140 mil plantas. ha^{-1} , maior comprimento de espiga foi obtido para condição de cultivo irrigado (Figura 3b). Demais populações não apresentaram variação significativa. Entre as populações em cada condição de cultivo, somente houve variação significativa na condição de cultivo em sequeiro, o que indica estabilidade para a condição de milho irrigado (Figura 3b). O diâmetro da espiga foi influenciado pela interação entre a condição hídrica e a população de plantas ($F_c = 3,11$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,01$). Para este

parâmetro, em todas as populações avaliadas verificou-se maior diâmetro de espigas para cultivo na condição irrigada (Figura 3c). Entre as populações, um padrão similar foi observado para as condições irrigado e sequeiro (Figura 3c). O número de fileiras.espiga⁻¹ não foi influenciado pela condição hídrica ($F_c = 0,02$; $gl = 1$ e 36 ; $p = 0,87$) e nem pela interação deste fator com a população de plantas ($F_c = 1,55$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,19$), sendo influenciado significativamente pela população de plantas de forma isolada ($F_c = 1,55$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,04$). Para este parâmetro, diferença significativas somente ocorreram entre as populações de 66 e 157 mil plantas.ha⁻¹ em ambas as condições de cultivo (Figura 3d).

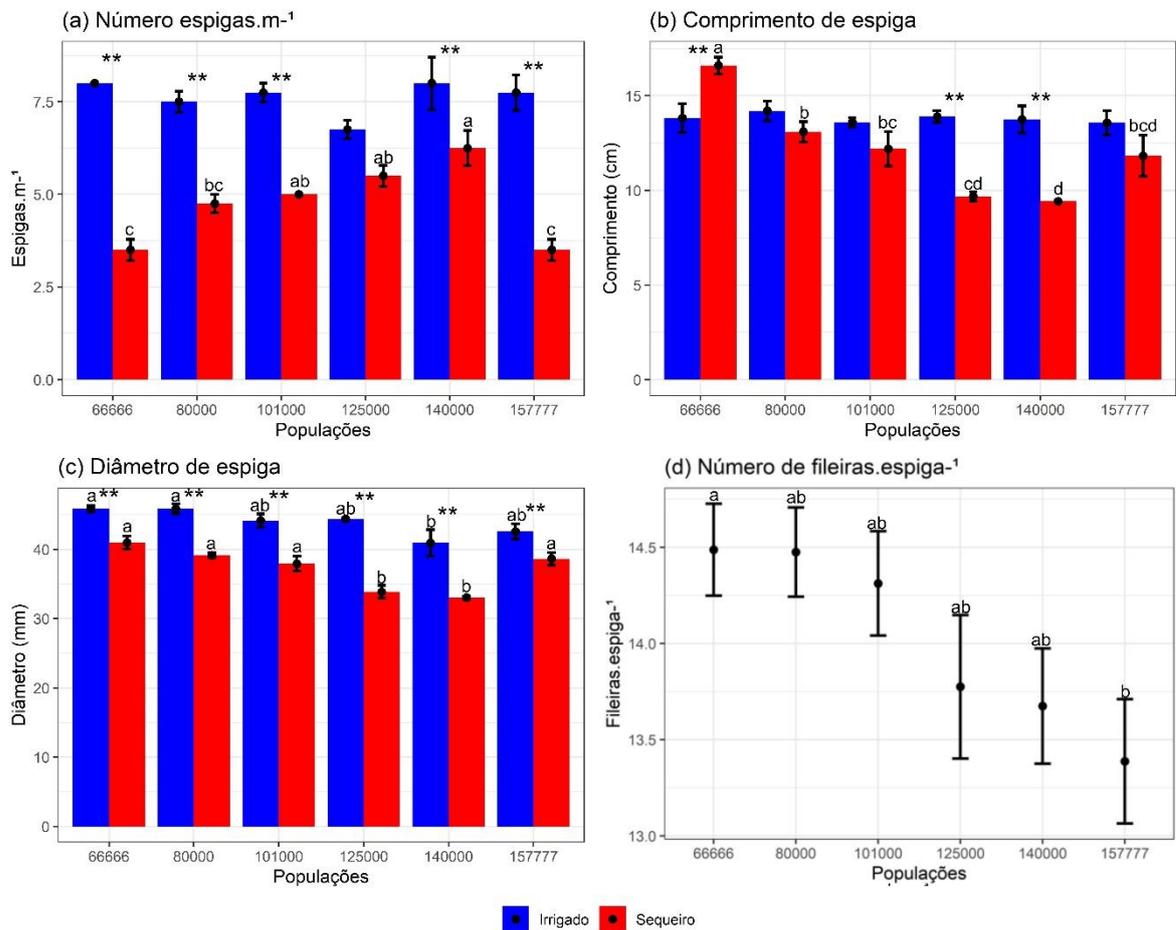


Figura 3. Número de espigas.metro⁻¹ (a), comprimento de espiga (b), diâmetro de espiga (c) e número de fileiras.espiga⁻¹ entre populações de plantas e condição hídrica. **Condições hídricas diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey. Letras diferentes, diferem significativamente entre populações dentro da mesma condição hídrica ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey.

O número de grãos.espiga⁻¹ foi significativamente influenciado pela interação dos fatores avaliados ($F_c = 4,85$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,001$). Para este parâmetro, na população de 66 mil plantas.ha⁻¹, verificou-se maior número de grãos.espiga⁻¹ para o cultivo em sequeiro. Já

para as populações de 125 e 140 mil plantas.ha⁻¹, foi obtido maior número de grãos.espiga⁻¹ na condição de cultivo irrigado (Figura 4a). Demais populações não apresentaram diferenças entre condições de cultivo. Entre populações de plantas em cada condição, somente foi observada variação significativa para condição de sequeiro, indicando estabilidade entre populações na condição irrigada (Figura 4a). O número de grão.planta⁻¹ também foi influenciado pela interação entre os fatores condição hídrica e população de plantas ($F_c = 16,03$; $gl = 5$ e 36 ; $p < 0,001$). No desdobramento da interação, verifica-se maior número de grãos.planta⁻¹ para condição de cultivo irrigado em todas as populações avaliadas (Figura 4b). Entre as populações, verificou-se um padrão de variação similar nas condições irrigado e sequeiro (Figura 4b). O peso de mil grãos foi influenciado pela condição hídrica ($F_c = 174,64$; $gl = 1$ e 36 ; $p < 0,001$) e população de plantas ($F_c = 4,50$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,002$) isolados, mas não em conjunto ($F_c = 1,75$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,14$). Para este cenário, de forma geral, maior peso de mil grãos foi obtido para condição de cultivo irrigado (Figura 4c). Isso ocorreu juntamente com um padrão similar de variação entre as populações em ambas as condições estudadas (Figura 4c). De forma geral, a produtividade final (Figura 4d) apresentou padrão similar ao observado para o peso de mil grãos, com efeitos significativos para condição hídrica ($F_c = 933,73$; $gl = 1$ e 36 ; $p < 0,001$) e população de plantas ($F_c = 10,05$; $gl = 5$ e 36 ; $p < 0,001$) de forma isolada, sem efeito de interação ($F_c = 1,02$; $gl = 5$ e 36 ; $p = 0,42$).

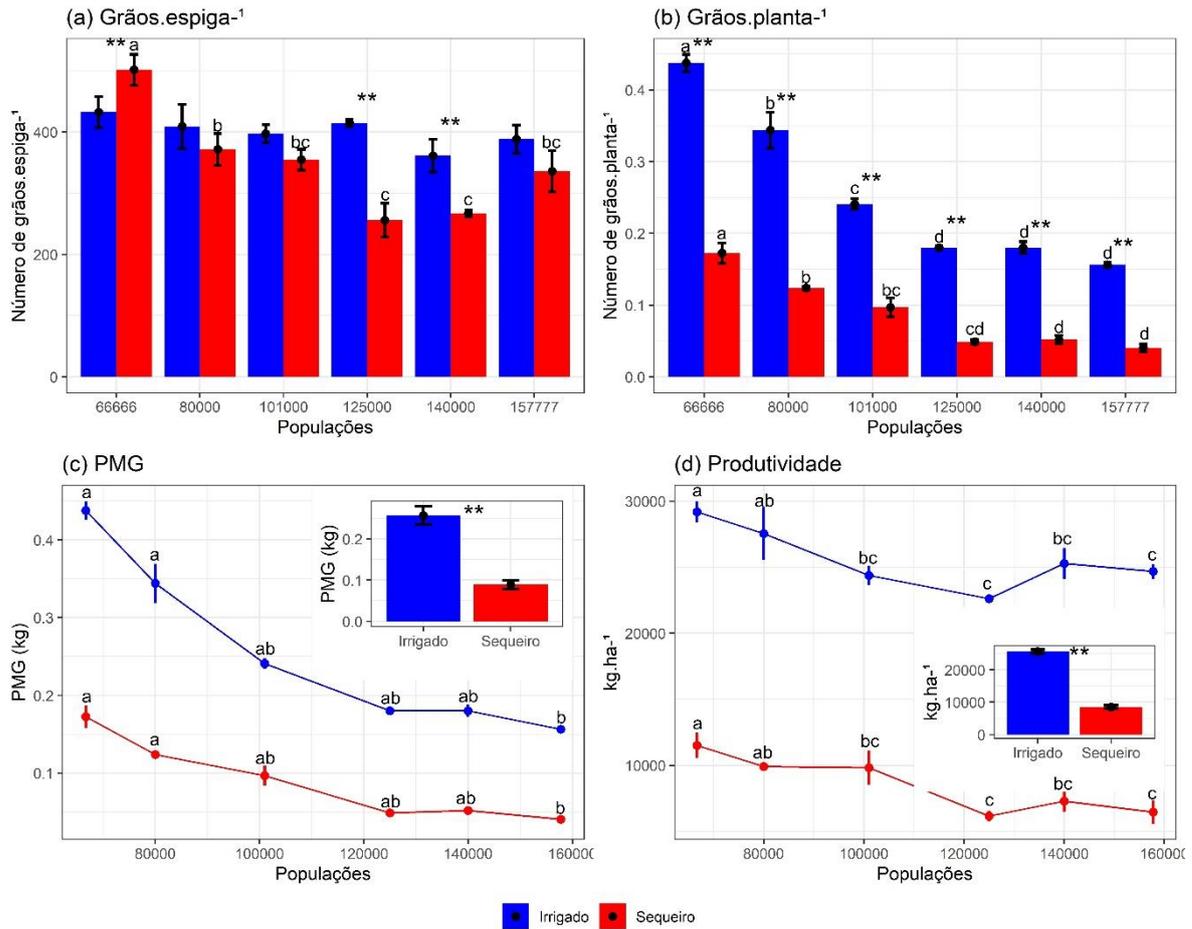


Figura 4. Número de grãos.espiga⁻¹ (a), grãos.planta⁻¹ (b), peso de mil grãos (c) e produtividade (d) entre populações de plantas e condição hídrica. **Condições hídricas diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey. Letras diferentes, diferem significativamente entre populações dentro da mesma condição hídrica ao nível de 5% de probabilidade de erro por meio do teste de Tukey.

A PCA explicou cerca de 72,27% da variação existente nos dados, com 44% no primeiro componente principal (PC1) e 28% no segundo (PC2). O PC1 carregou os principais parâmetros produtivos avaliados para cultura do milho. Estes tiveram valores superiores em sua maioria para condição de milho irrigado, indicando maior quantidade de variáveis associadas a produtividade nesta condição. Para condição de sequeiro, verificou-se maiores valores para altura de inserção da última folha e altura de plantas. No PC2, foram contidos demais parâmetros avaliados, com maiores valores para altura de plantas em V4 e V8, número de espigas por metro linear, sendo estes negativamente correlacionados com o número de fileiras por espiga, sendo este maior para condição de sequeiro (Figura 5).

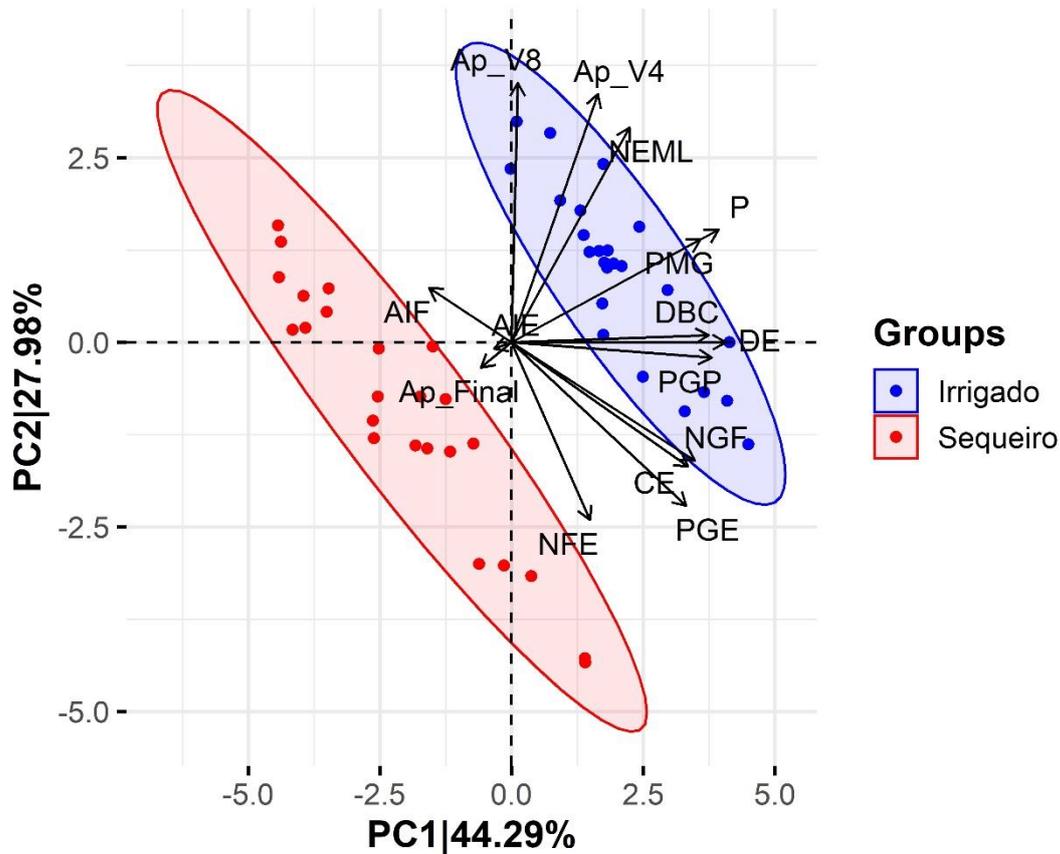


Figura 5. Análise de componentes principais particionando a variância observada dos parâmetros avaliados em função da disponibilidade hídrica (irrigado x sequeiro). Legenda: Ap_final (altura final de plantas), Ap_V4 (altura de plantas em V4), Ap_V8 (altura de plantas em V8), AIE (altura de inserção da espiga), AIF (altura da inserção da última folha), comprimento de espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), número de fileiras de grãos por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), produtividade final (P), produção de grãos por planta (PGP), número de espigas por metro linear (NEML), peso de mil grãos (PMG) e produção de grãos por espiga (PGE).

4. DISCUSSÕES

Os resultados obtidos demonstraram como a disponibilidade hídrica pode modular o efeito da população de plantas de milho sobre os diferentes parâmetros avaliados. De forma geral, notou-se que em grande parte dos parâmetros avaliados, a disponibilidade hídrica gerou um incremento em relação a condição de sequeiro. Outro importante efeito observado foi o aumento da estabilidade dos parâmetros, a atenuação do efeito da população de plantas por meio da disponibilidade hídrica.

Levando em consideração que o milho é uma planta de metabolismo C4, quando este atinge sua máxima área foliar coincidir com o momento de máxima radiação solar, é capaz de

alcançar seu máximo potencial produtivo, desde que não haja escassez hídrica. (BERGAMASCHI *et al.*, 2004) observaram que a falta de água, principalmente nos períodos mais críticos da cultura do milho, como da pré-floração ao enchimento de grãos, causa redução no rendimento das plantas. Os autores ainda destacaram que “o número de grãos por espiga e o número de espigas por planta são os componentes de produção de grãos mais afetados pelo déficit hídrico”, corroborando com o observado neste trabalho.

Plantas de milho foram conduzidas em diferentes tratamentos de irrigação em Eldorado do Sul, RS, durante quatro anos safra, a fim de observar o efeito sob a massa de matéria seca e rendimento de grãos da cultura. Foi observado maior eficiência de irrigação em anos de déficit hídrico, apresentando maior rendimento de grãos devido maior número de grãos por espiga e por metro quadrado avaliado, mostrando a eficiência no manejo de irrigação (BERGONCI *et al.*, 2001).

Outro estudo avaliou o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre o rendimento de grãos de milho em diferentes sistemas de cultivo, convencional ou plantio direto, observando que, embora não foi encontrado efeito do sistema de cultivo, a produtividade respondeu de forma quadrática às lâminas de irrigação, sendo que lâminas próximo a 100% de lâmina líquida resultaram em produtividades máximas da cultura do milho (PRADO *et al.*, 2020).

Em Campos Borges, no RS, plantas de milho submetidas a condições de sequeiro e irrigação, apresentaram maior altura de planta quando conduzido em sequeiro, diferente do encontrado neste trabalho, também apresentou maior número de fileiras por espiga nestas condições, entretanto nas condições de irrigado as plantas apresentaram maior peso de grãos, importante parâmetro de rendimento da cultura, mostrando que este rendimento é dependente das condições climáticas, sendo que o sistema irrigado condiciona melhores condições de desenvolvimento dos componentes de produção (CARVALHO *et al.*, 2014).

Cultivares, condições climáticas e manejo são fatores importantes que determinam a população ótima de plantas por área na produção de milho. O aumento da densidade de plantas é uma técnica utilizada afim de elevar os rendimentos da cultura. Entretanto diferentes densidades alteram o rendimento de grãos de acordo com o grau de competição intraespecífica. O aumento do rendimento da cultura aumenta com a elevação da densidade de semeadura até atingir uma densidade ótima (CRUZ; SORGO; ALBUQUERQUE, 2021).

Resultados de maiores alturas de planta, menor diâmetro de colmo e menor fileiras de grãos por espiga em condições de maior população de plantas por área foram observados

concordando com o descrito na literatura (CRUZ; SORGO; ALBUQUERQUE, 2021; MONTEIRO; CRISTIANE MARILIZ STÖCKER, 2020, SANGOI *ET AL.* 2002). A maior altura das plantas está diretamente associada ao efeito da competição intraespecífica por luz, o que resulta no estímulo da dominância apical das plantas.

MARCHÃO *et al.* (2005) estudando diferentes densidades e espaçamento de plantas de milho, observaram aumento na estatura de plantas entre populações de 40.000 e 100.000 plantas.ha⁻¹, além de maiores alturas de inserção da espiga, resultado não observado no nosso estudo. ARGENTA *et al.* (2001) observaram que plantas menores em menores densidades apresentaram maior rendimento, condizendo com os nossos resultados, onde plantas em cultivo irrigado em menores populações apresentaram os maiores rendimentos de grãos.

Plantas em cultivo irrigado também apresentaram maiores diâmetros de colmo, entretanto plantas em maiores densidade apresentaram menores diâmetros (DOURADO NETO *et al.* 2003), resultados também encontrados por BRACHTVOGEL *et al.* (2012), onde houve decréscimo no diâmetro com o aumento da população, os autores relacionaram esses resultados ao rápido crescimento das plantas em altas populações para evitar sombreamento e aumentar as chances de crescer acima do dossel.

Nos anos em que ocorrem períodos de déficit hídrico na estação do verão, durante o cultivo do milho, a produtividade das culturas é reduzida, causando prejuízos aos produtores (MATZENAUER *et al.*, 2002). Sendo assim, o planejamento de manejo e populações que se adequam às condições climáticas torna-se necessário para minimizar os riscos causados pela escassez hídrica, principalmente em lavouras que não apresentam ferramentas de irrigação (BERGAMASCHI *et al.*, 2004).

5. CONCLUSÕES

Nossos resultados mostraram que diferentes condições de fornecimento de água e a densidade de plantas são fatores determinantes dos componentes de rendimento da cultura do milho. Plantas conduzidas sob condições de irrigação por aspersão via pivô central apresentam maior estatura de planta, maior número de espigas por metro, maior diâmetro de espiga, número de grãos por espiga, além de maior peso de mil grãos, proporcionando maior produtividade. As populações de planta apresentaram menor variação dos parâmetros em condições de irrigação, sendo que menores populações (66 e 80 mil plantas por hectare) apresentaram maior rendimento de grãos.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Chemical and physical attributes of oxisols and their relation with irrigated corn and common bean yields. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 33, n. 4, p. 831–843, 2009.
- ANA (Agência Nacional de Águas)- Atlas Irrigação-O uso da água na Agricultura Irrigada, 2017. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrrigada.pdf> Acesso em: 17 de Junho de 2021.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. DA; BORTOLINI, C. G.; *et al.* Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2001.
- BERGAMASCHI, H. *et al.* Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. n. 1, p. 831–839, 2004.
- BERGONCI, J. I. *et al.* Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 7, p. 949–956, 2001.
- BRACHTVOGEL, E. L. *et al.* População , arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. *Revista Trópica*, v. 6, n. 1, p. 75–83, 2012.
- CALONEGO, J. C., POLETO, L. C., DOMINGUES, F. N., & TIRITAN, C. S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. *Agrarian*, 4(12), 84–90, 2011.
- CARVALHO, I. R. C. *et al.* Desempenho agronomico de híbridos de milho em ambiente irrigado e sequeiro. *Enciclopedia Biosfera*, v. 10, n. 18, p. 1145, 2014.
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento- Safra brasileira de grãos (Boletim de grãos 22/07/21). Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos> Acesso em: 17 de Agosto de 2021
- CRUZ, J. C.; SORGO, I. A. P. F.; ALBUQUERQUE, M. R. De. Milho: Espaçamento e Densidade. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/plantio/espacamento-e-densidade>>.
- DOURADO NETO, D. *et al.* Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, v.2, n.3, p.6377, 2003.
- DOURADO NETO, D. Modelos fitotécnicos referentes à cultura do milho. 229 f. Tese (Livre-Docência em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- EICHOLZ, E. D. *et al.* (Org.). Informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2019/20 e 2020/21. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2020.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. Brasília. 243p., 2017.

GRAFFITTI, M. S. Desempenho da cultura de milho em função de arranjos espaciais. 2020. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Fitotecnia, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Portal cidade. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cruz-alta/panorama>> Acesso em: 07/01/2022.

MANUAL. Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

MARCHÃO, R. L. *et al.* Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 35, n. 2, p. 93–101, 2005.

MATZENAUER, R. *et al.* Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 104 p. (BOLETIM FEPAGRO, 10)

MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. A Granja, v. 74, n. 829, p. 24-27, jan. 2018.

MONTEIRO, A. B. STÖCKER, C. M. Espaçamento entrelinhas de semeadura e produtividade da cultura do milho irrigado por aspersão. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 8, n. 4, p. 111–121, 2020.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, p. 1633–1644, 2007.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 3, p. 262, 2009.

PEREIRA, A. C., SANTOS, P. R. DOS F., UJACOV, G., TOMAZETTI, M., PARIZI, A. R. C. Avaliação da produtividade da cultura do milho conduzido sob irrigação por aspersão. Capa. 4(2), 1-8, 2012.

PIAS, O. H. de C.; LOWE, M. A.; DAMIAN, J. M.; SANTI, A. L.; TREVISAN, R. Componentes de rendimento e produtividade de híbridos de milho em função de doses de NPK e de déficit hídrico em estádios fenológicos críticos. Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v. 16, n. 4, p. 422-432, 2018.

PRADO, G. Do. *et al.* PRODUTIVIDADE DO MILHO IRRIGADO NA REGIÃO DO ARENITO CAIUÁ NO NOROESTE DO PARANÁ. Irriga, v. 25, p. 465–480, 2020.

REIS, C. O. *Azospirillum brasilense*: alternativa ecológica na superação do estresse hídrico em milho. 2019. Tese (Doutorado em Botânica Vegetal) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2019.

SANGOI, L., M.A. GRACIETTI, C. RAMPAZZO, & P. BIANCHETTI. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. *Field Crops Research*, 79 (1): 39-51, 2002.

SILVA, É. J. DA; ESPERANCINI, M. S. T. Análise de viabilidade econômica do milho safrinha no Paraná. *Revista de Política Agrícola*, v. 3, n. 2, p. 62–70, 2021.

STRECK, N. A., ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2006.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; *et al.* Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. *Ciencia Rural*, v. 46, n. 3, p. 464–471, 2016.